

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie



Studijní obor: Hospodaření s přírodními zdroji

Eva Stará

Zemětřesení jako geologický děj, jeho predikce a účinná ochrana před ním
Earthquake as a geological process, its prediction and effective protection against it

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Jan Vilhelm, CSc.

Praha, 2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 16.8.2012

Poděkování:

Za užitečné rady a hlavně za trpělivost při opravování bakalářské práce děkuji vedoucímu práce panu doc. RNDr. Janu Vilhelmovi, CSc.

Abstrakt:

Zemětřesení jako jedna z přírodních katastrof ovlivňuje životy lidí a jejich majetek i v dnešní vyspělé době. Seismologie a geologie významným způsobem pokročily v poznání fyzikálních a geologických jevů, spojených se zemětřesením. Mnohé z následků zemětřesení se daří významně omezit. Ohodnocení seismického rizika a správné užití antiseismických prvků v konstrukcích odolných budov nebo systémy včasného varování dopady tohoto ničivého živlu podstatně snižují. K účinné ochraně před zemětřesením by přispěla především jeho správná a včasná predikce, která ale zatím zůstává výzvou pro geovědce na celém světě.

Summary:

The earthquake, one of the natural disasters, affects the lives of people and their properties even in today's advanced age. Seismology and Geology have made a significant progress in understanding the physical and geological phenomena connected to earthquakes. Thus many consequences of earthquakes can be considerably reduced. Seismic risk estimation and a proper use of antiseismic elements in structures of resistant buildings as well as of early warning systems significantly lowers the impacts of this destructive element. Especially the correct and on-time prediction could contribute to an effective protection from earthquakes but this still remains a challenge for geologists worldwide.

OSNOVA:

ÚVOD.....	1
1. ZEMĚTŘESENÍ.....	2
1.1 Zemský neklid.....	2
1.2 Vznik zemětřesení.....	3
1.3 Typy zemětřesení.....	3
1.3.1 Podle příčin.....	3
1.3.2 Podle hloubky hypocentra.....	3
1.4 Doprovodné zemětřesné jevy.....	4
1.4.1 Tsunami.....	5
1.4.2 Předtřesy a dotřesy.....	6
1.4.3 Zemětřesné roje.....	6
1.5 Velikost zemětřesení.....	6
1.5.1 Druhy seismických stupnic.....	6
1.5.2 Přístrojové měření.....	9
1.6 Přehled významných zemětřesení.....	10
2. DOPADY ZEMĚTŘESENÍ NA BUDOVY.....	13
2.1 Seismické inženýrství.....	13
2.2 Seismické normy.....	13
2.3 Podmínky seismicky odolné stavby.....	14
2.3.1 Hodnocení seismické odolnosti staveb.....	14
2.4 Ochranné prvky u nově stavěných budov.....	14
2.4.1 Visko – elastické tlumiče.....	15
2.4.2 Tlumiče založené na tření.....	15
2.4.3 Tlumiče založené na elastické deformaci.....	17
2.5 Opatření užitá na zmírnění dopadů zemětřesení.....	19
2.6 Záchranné a úklidové práce po katastrofě.....	19
2.6.1 GINA systém (Geographical Information Assistant).....	20
3. PREDIKCE ZEMĚTŘESENÍ.....	21
3.1 Historický vývoj predikce zemětřesení.....	21
3.1.1 Léta sedmdesátá.....	22
3.1.2 Léta osmdesátá a devadesátá.....	22
3.2 Parametry předpovědi zemětřesení.....	23
3.2.1 Určení místa ohniska.....	23
3.2.2 Předpověď okamžiku vzniku zemětřesení.....	23
3.2.3 Určení velikosti zemětřesení.....	24
3.3 Prekurzory zemětřesení.....	24
3.3.1 Elektromagnetické metody.....	24
3.3.2 Slapy a seismické kyvadlo.....	25
3.3.3 Měření emisí radonu.....	26
3.3.4 Měření seismicity.....	26
3.3.5 Měření posunů zemského povrchu.....	27
3.3.6 Gravimetrie.....	27
3.3.7 Přírodní prekurzory zemětřesení.....	27
3.4 Systém varování před vlnou tsunami.....	28
3.4.1 Centra pro varování před vlnou tsunami.....	29
3.4.2 Bóje na měření vln tsunami.....	29
3.4.3 GITEWS – příklad systému brzkého varování před tsunami.....	30
ZÁVĚR.....	31
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	32

ÚVOD

Zemětřesení jako jedna z přírodních katastrof zasahuje a ve značné míře ovlivňuje životy lidí v seismicky aktivních oblastech. Seismologové provádějí nepřetržitý monitoring seismické aktivity na celém světě a spolu s geology dovedou vysvětlit její příčiny. Přes mnohé pokroky v oblasti snižování následků zemětřesení, zatím neexistuje spolehlivá možnost varování před zemětřesením. Systém účinné ochrany před zemětřesením je tedy stále výzvou, které je v geovědách věnována značná pozornost.

Cílem této bakalářské práce je podat základní přehled o zemětřesení, jeho klasifikaci a výskytu na Zemi a zabývá se vybranými aspekty ochrany budov a možnostmi predikce zemětřesení, nebo alespoň včasným varováním.

Práce shrnuje vybrané dosavadní poznatky o projevech zemětřesení a o jeho vzniku. Člení systematicky zemětřesení do různých skupin podle příčin vzniku (tektonická, sopečná, říťivá) nebo podle hloubky hypocentra (mělká, středně hluboká, hluboká). Popisuje a definuje některé jevy se zemětřesením úzce spjaté, přičemž důraz je v práci kladen především na vlny tsunami, jako doprovodné události vznikající při zemětřeseních uprostřed moří a oceánů. Zmíněny jsou pak i některé z dalších doprovodných zemětřesných jevů jako například zemětřesné roje nebo předtřesová aktivita. V úvodní části práce je také rozebrán způsob přístrojového měření a zaznamenávání zemětřesení. Přiblíženy jsou pak některé stupnice pro ohodnocení velikosti zemětřesení. Jde jednak o měření magnituda zemětřesení, ale i o stupnice, které mají svůj základ v pozorování makroseismických účinků, tedy stupnice popisující intenzitu zemětřesení. V závěru první části je pak uveden přehled ničivých událostí z nedávné minulosti.

Druhá část práce je pak věnována dopadům zemětřesení na budovy. V této kapitole je nastíněno, jak by měla vypadat antiseismická stavba. Zmíněna je zde i právní úprava v souvislosti s výstavbou seismicky odolných staveb. Konkrétně jsou v této části rozebrány některé konstrukční prvky, které slouží k ochraně budovy před zemětřesením. V neposlední řadě je zde i zmínka o programu na zlepšení organizace záchrany lidských životů při katastrofách.

Poslední kapitola pojednává o predikci zemětřesení. Dotýká se některých aspektů historického vývoje předpovídání výskytu zemětřesení. Vymezuje tři základní parametry predikce zemětřesení (velikost zemětřesení - magnitudo, čas vzniku zemětřesení a jeho přesnou polohu) a přibližuje některé metody, jak tyto tři parametry zjistit. Zařazena je i krátká zmínka o vlně tsunami a systému varování před ní.

Práce je rešeršního charakteru. Vzhledem k rozsahu bakalářské práce si neklade za cíl podat úplný přehled probíraných témat, ale představuje určitý průřez problematikou.

1. ZEMĚTŘESENÍ

Zemětřesení je jedna z přírodních katastrof, která nemálo ovlivňuje životy lidí a působí škody na jejich majetku. Přichází zpravidla zcela neočekávaně a působí v relativně krátkém časovém úseku. Postupné osidlování seismicky ohrožených území, výšková zástavba, různé druhy komunikačních staveb, jaderné elektrárny a např. přehradní nádrže zvyšují společenskou závažnost ničivých zemětřesení. Je takřka nepředstavitelné, že by lidstvo někdy do budoucna mohlo úplně předejít a zabránit zemětřesení, proto je velice důležité naučit se s tímto živlem soužít a omezit jeho katastrofální účinky za pomoci technických prostředků, na základě zdokonalování předpovědi tohoto jevu a výstavbou objektů odolných vůči účinkům zemětřesení. Je třeba procesům vzniku zemětřesení porozumět, aby se tyto cíle mohly stát skutečností (Procházková a kol., 1996).

1.1 Zemský neklid

V práci Kumpery a kol. (1988) se uvádí, že zemské těleso je v neustálém neklidu a chvěje se v důsledku pohybů, které probíhají na zemském povrchu nebo pod ním, v zemské kůře nebo ve svrchním plášti. Tento pohyb je označován jako seismický neklid, případně také mikrozeismický neklid. Pohyb je vyvolán především endogenními činiteli. Citlivé přístroje jsou schopny zaznamenat i otřesy způsobené dopravou, hornickou činností ale dokonce i vodopády, větrem nebo náhlou přestavbou vzdušného tlakového pole (tzv. meteorologické mikrozeismy).

Zemětřesením označujeme přirozené otřesy, které vznikly ve vnějších obalech Země. Tyto otřesy vznikly náhlým uvolněním mechanické energie. Při těchto otřesech se krátkodobým pohybem ker vyrovnává nevyrovnaný napěťový stav v zemské kůře a ve svrchním plášti. Při zemětřesení dochází k posunu ker. Vzniká zlom nebo se opakují pohyby na již dříve existujících zlomech.

Oblast vzniku zemětřesení se označuje jako ohnisko zemětřesení. Jeho rozměry mohou být řádově až stovky km, ale vzhledem k rozměrům Země je často z hlediska vzdáleného pozorovatele zanedbáváme a nahrazujeme oblast vzniku zemětřesení bodovým hypocentrem. Místo na zemském povrchu, které leží nejbližší hypocentra, se nazývá epicentrum, místo ležící nejdále se pak označuje jako antiepicentrum.

Kumpera a kol. (1988) dále uvádí, že ve větší vzdálenosti od ohniska mají pohyby horninového prostředí, jež vznikly uvolněním nahromaděné energie, charakter pružného vlnění, které je při průchodu zemským tělesem tlumeno a jehož amplituda klesá se vzdáleností od ohniska. Při velkém množství uvolněné energie může vlnění proběhnout i několikrát kolem Země, přičemž dojde k jeho interferenci a Země se rozkmitá vlastními kmity. Z ohniska se šíří několik typů vln. Prvním typem vln jsou podélné P vlny, které kmitají ve směru vlnění a jsou nejrychlejší. Druhým typem jsou pomalejší vlny příčné S, které kmitají kolmo na směr postupu vlnění. Největší škody na zemském povrchu však způsobují vlny povrchové L, které jsou kombinací obou předchozích.

Průchod zemětřesných vln se zaznamenává v seismických stanicích registračními přístroji, tzv. seismografy nebo seismometry (viz. kapitola 1.5.2 Seismické měření). Na záznamech pořízených těmito přístroji lze odečíst délku trvání zemětřesení, příchody jednotlivých seismických vln a lze rovněž usuzovat například na sílu zemětřesení.

1.2 Vznik zemětřesení

Z fyziky je známo, že každé těleso při působení síly změní svůj pohybový stav, rychlost či směr pohybu, nebo se deformuje. V reálném prostředí dochází v různé míře k obojímu zároveň (Procházková a kol., 1996).

Vznik zemětřesení může být vysvětlován na základě tektoniky litosférických desek. Na základě pohybu litosférických desek rozeznáváme tři typy rozhraní. Jedná se o konvergentní rozhraní (na okrajích litosférických desek vzniká kolize), divergentní rozhraní (litosférické desky se rozestupují) a posledním typem rozhraní je transformní rozhraní desek (desky se vůči sobě posunují) (<http://www.i15.cz/zemetreseni/>).

Podsouvání jedné desky pod druhou není hladký a spojitý proces, ale proces přerušovaný. Na hranicích desek vzniká velké tření, a proto se v místě podsouvání jistou dobu kumuluje napětí a vzniká zóna, ve které je deska zabržděna. Náhlé uvolnění tohoto napětí znamená pohyb, v tomto případě relativní pohyb desek, při kterém vznikne nebo se ožíví zlom. Pohyb podél zlomu pak způsobí zemětřesení (Jakeš 2005).

Může nastat situace, kdy se dvě litosférické desky dostanou do kontaktu nebo vznikne zlom, ale tento děj není doprovázen otřesy. V tomto případě hovoříme o tzv. aseismickém pohybu (http://www.ess.washington.edu/SEIS/PNSN/INFO_GENERAL/NQT/glossary.html).

Většina zemětřesení má svůj původ na bázi zemské kůry a ve svrchním plášti (Kumpera a kol., 1988).

Příčinou zemětřesení mohou být také orogenické pohyby, způsobené teplotní a hustotní nerovnováhou v kůře a ve svrchním plášti. Dále mezi procesy mající příčinu na vznik zemětřesení patří konvekční proudění, izostáze, gravitační působení apod. (Brázdil, 1988).

1.3 Typy zemětřesení

Zemětřesení lze klasifikovat podle celé řady rozdílných hledisek. Podle toho existují různé způsoby jejich rozdělení.

1.3.1 Podle příčin:

Podle příčin rozeznáváme tři hlavní typy zemětřesení: tektonická, sopečná a řítivá.

Největší zastoupení mají zemětřesení tektonická (až 90%). Příčinou těchto zemětřesení je vyrovnávání tlaků napětíového stavu při tektonických pohybech v zemském tělese.

Sopečná zemětřesení vznikají vyrovnáváním tlaků po výbuších sopek.

Řítivá zemětřesení jsou nejméně rozšířená a vznikají například řícením podzemních krasových dutin.

Zemětřesení je možné vyvolat i uměle. Jedná se pak například o jaderné výbuchy, hornickou činnost nebo jinou náročnou technickou činnost (Foldyna a kol., 1988).

1.3.2 Podle hloubky hypocentra:

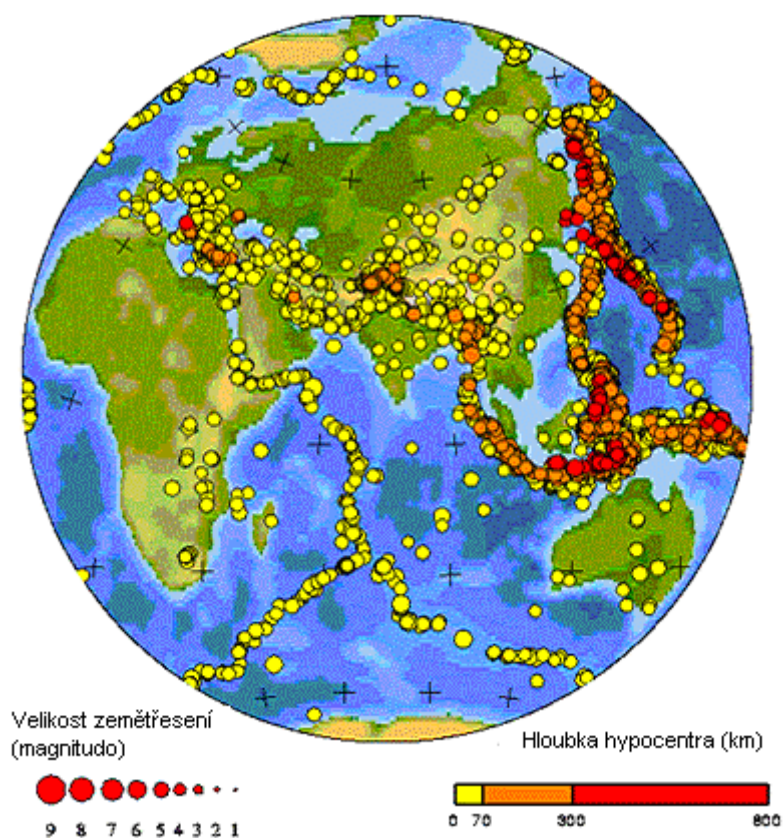
Dalším způsobem dělení zemětřesení je dělení podle hloubky jejich hypocentra.

První skupinu tvoří mělká zemětřesení s hloubkami do 60 až 70 km. Jedná se o nejčastější zemětřesení, nejrozšířenější na rozhraní pláště a zemské kůry.

Středně hluboká zemětřesení, která mají hypocentra v hloubkách od 60-300 km, tvoří druhou skupinu zemětřesení.

Poslední skupinu tvoří hluboká zemětřesení s hloubkou hypocentra až 750 km. Tato zemětřesení se vyskytují v oblasti Tichého oceánu.

Obecně platí, že největší zastoupení má první skupina zemětřesení (viz. Obr. 1). V hloubce mezi 90-120 km se vyskytuje jen asi 5% zemětřesení. Ve větších hloubkách nastává jen asi 3,5% zemětřesení (Kumpera a kol., 1988).



Obr. 1. Lokalizace významných zemětřesení v závislosti na velikosti a hloubce hypocentra (1.1.1996 – 31.12.1996, oblast Afriky, Evropy, Asie a Austrálie). Upraveno podle <http://www.ncedc.org/cnss/>.

1.4 Doprovodné zemětřesné jevy

Hlavní zemětřesný děj obvykle doprovází další, zpravidla ne tak intenzivní děje, které jsou ale neméně nebezpečné. Patří sem například zemětřesné předtřesy a dotřesy. Pokud je takových doprovázejících seismických dějů mnoho, často ani nelze jeden děj označit za hlavní. Takovou seismickou aktivitu označujeme jako zemětřesné roje, které jsou pozorovány i u nás v západních Čechách. Za zmínku stojí, že ne vždy musí jevy, které doprovází nebo následují po zemětřesení škodit. Právě v západních Čechách se seismická aktivita v podobě zemětřesných rojů ukázala jako výhodná. Akumulovaná

energie se uvolňuje postupně v podobě menších událostí. Roje tak předcházejí velkému zemětřesení, které by mohlo mít katastrofické následky (<http://www.ig.cas.cz/cz/struktura/observatore/zapadoceska-seismicka-sit-webnet>).

Jiným doprovodným dějem jsou vlny tsunami, vznikající při zemětřesné činnosti v oblasti oceánů. V následující kapitole jsou některé z dějů více přiblíženy.

Vedle těchto doprovodných jevů zemětřesení dochází k celé řadě jevů, které označujeme jako následky zemětřesení. Sem lze zařadit například sesuvy vyvolané zemětřesením, škody na budovách a podobně. Dělení na následky a doprovodné jevy nemusí být vždy jednoznačné.

1.4.1 Tsunami

Jedná se o dlouhou mořskou vlnu katastrofické povahy, kruhovitě se šířící od hypocentra mořského zemětřesení (UNIVERSUM Všeobecná encyklopedie, 2001).

Tsunami vzniká jako důsledek zemětřesení nebo vulkanických erupcí na mořském dně, případně podmořských sesuvů nezpevněných břehů či sedimentů dna. Vlny vzniklé v důsledku zemětřesení bývají nejčastější (až 90%) a svými účinky jsou obvykle ničivější než tsunami vzniklé sesuvy nebo vulkanickou činností.

V řadě případů se příchod vlny tsunami na pobřeží projevuje ustupujícím mořem a setrvávající pokleslou hladinou moře po dobu několika minut. Poté přichází dlouhá vlna, která se valí k pevnině celé minuty. Tsunami je ve své podstatě velká masa vody nesoucí obrovské množství energie.

Místa, kde se jedna litosférická deska dostává pod druhou, tzv. subdukční zóny, jsou místa největší pravděpodobnosti vzniku vlny tsunami. Jedná se o to, že na takových místech dochází k posunu dvou bloků zemské kůry podél zlomu. Dochází ke vzniku jakéhosi "schodu", který může být různě velký (výška schodu při zemětřesení u ostrova Sumatra roku 2004 byla 30 metrů). Délka takového schodu se různí. V některých případech může dosahovat až k tisícovce kilometrů. Při tomto jevu dochází k vyplnění vzniklého volného prostoru vodou, což je příčina tsunami.

Vlna tsunami se od místa zdroje šíří všemi směry, přičemž dominuje a největší intenzitu má směr kolmý na zlom, který způsobil zemětřesení. Rychlost vlny se odvíjí od hloubky dna. V důsledku toho může vlna svou rychlost zvyšovat (v hlubokých částech oceánu) či snižovat (na mělčinách). Rychlost vln je však nesporně značná. V oceánu při hloubce 4000m dosahují vlny rychlosti až 700km/h (maximální pozorovaná rychlost byla až 1000km/h), na šelfu se rychlosti pohybují okolo 100 až 120 km/h.

Zrádnost vln tsunami spočívá v tom, že na otevřeném oceánu se výška vlny pohybuje mezi 30-60 centimetry a není tak možné ji spolehlivě zaznamenat. S postupem vlny směrem k mělčině se snižuje rychlost vlny, její vlnová délka se zmenšuje, ale celková energie pohybující se masou vody zůstává zachována. Výška vlny tedy směrem k mělčině rapidně roste. Na pobřeží v blízkosti epicentra zemětřesení může vlna dosáhnout i třiceti výškových metrů. Na vrcholu vlny se kupí ohromné množství vody. Nahromaděná voda pak náhle zatopí pobřežní oblasti a tento útok může trvat i desítky minut. To však není konec vlny. Vlna se ještě vrací a může udeřit ještě po několika hodinách (Jakeš, 2005).

Vlna tsunami má zpravidla periodu mezi 10 až 120 minutami a její vlnová délka je okolo 500 kilometrů.

Nejaktivnějšími tsunamogenními zónami jsou oblasti oceánských příkopů, hlavně v Pacifiku. Podle dostupných statistických údajů má největší počet vln tsunami svůj původ v okolí Japonska (přes 17%), dále pak v Jižní Americe, Nové Guinei, na Šalamounových ostrovech, nebo v Indonésii (Jakeš, 2005).

V některých publikacích je pojem tsunami často zaměňován s jinými druhy vlnění. Vlna tsunami vzniká rázem a jedná se zde o pohyb celé masy vody. Právě proto se jedná o úplně jiný typ vlny než jsou vlny krátkoperiodické na povrchu moří či oceánů. Na rozdíl od tsunami, přílivové vlny vznikají účinkem slapových sil. Slapové síly a jejich důsledek příliv a odliv vznikají přitažlivostí Měsíce a Slunce.

Podobně jako u zemětřesení i u vln tsunami lze měřit jejich velikost (magnitudo, logaritmus výšky vlny korigovaný na vzdálenost). Vlny tsunami mají někdy svůj záznam i v usazených horninách. Taková vlnou tsunami ovlivněná sedimentární hornina se označuje jako tsunamit.

Tsunami se svými účinky stala hrozbou a nejednou dokázala překvapit obyvatele pobřeží a blízkého okolí. Název tsunami z japonštiny "Dlouhá vlna v přístavu" zobecněl. Jižní Amerika má pro tento doprovodný ničivý zemětřesný děj název "Maremoto" (Jakeš, 2005).

1.4.2 Předtřesy a dotřesy

Při některých zemětřeseních dochází k takzvaným předtřesům. Jedná se o slabší zemětřesení, která předcházejí hlavní otřes. Spíše by se dalo hovořit o zemětřesném šumu. Tento šum vychází ze stejného zdroje jako zemětřesení samotné. Identifikace těchto zemětřesných jevů jako předtřesů je ale velice složitá. Pokud se ale v některé konkrétní seismické oblasti ukazuje, že silnější zemětřesení jsou pravidelně předcházena předtřesy, může to mít zásadní vliv na předpověď zemětřesení.

Po zemětřesné události často následují ještě takzvané dotřesy. Tyto jevy mohou být zpočátku po zemětřesení časté a silné, postupně doznívají. Může též nastat situace, kdy jsou dotřesy pozorovány v dlouhém intervalu vyznívání, někdy až několik let (Jakeš, 2005).

1.4.3 Zemětřesné roje

Zemětřesné roje vznikají jak na okraji, tak i uvnitř litosférických desek a jsou kumulací velkého počtu zemětřesení v čase a prostoru. U zemětřesných rojů má několik nejsilnějších jevů podobné magnitudo, takže nelze identifikovat hlavní otřes a následnou dotřesovou sérii. Tím se zemětřesné roje liší od zemětřesení jako takového. Energie rojových zemětřesení je zanedbatelná ve srovnání se silnými tektonickými zemětřeseními. Trvání rojových aktivit se pohybuje od několika hodin u mikrorojů až do několika měsíců. Dalším typickým znakem zemětřesných rojů je velký relativní podíl slabých jevů a malé hloubky ohnisek nepřesahující 20 km. Seismické vlny vyzářené rojovými zemětřeseními obsahují frekvence až 100 Hz, proto například západočeská rojová zemětřesení bývají doprovázena zvukovými efekty připomínajícími hřmění nebo průjezd těžkotónážních vozidel. Zemětřesné roje se často vyskytují v oblastech aktivního nebo doznívajícího vulkanismu (Horálek a kol., 2004).

1.5 Velikost zemětřesení

1.5.1 Druhy seismických stupnic

Na základě pozorovaných makroseismických účinků zemětřesení na lidi, krajinu a stavby (např. porušení omítky, praskání zdiva, totální zničení budovy ...) je zavedena veličina, která se nazývá intenzita zemětřesení. Nejedná se tedy o veličinu zjištěnou měřením, ale subjektivním pozorováním a ohodnocením velikosti následků zemětřesení. Autorem jedné z prvních stupnic tohoto typu byl italský

seismolog Giuseppe Mercalli (1850-1914). Stupnici sestavil na základě pozorování následků zemětřesení. V průběhu let byla tato stupnice několikrát změněna. Nyní existuje několik druhů takových stupnic. Četně využívaná je stupnice Mercalliho-Cancaniho-Siebergova (MCS) nebo stupnice Mercalliho (MM – Modified Mercalli, využívána hlavně v USA). V Japonsku se například používá stupnice seismické intenzity Japonské meteorologické agentury (nazývána šindó). Na rozdíl od dvou předešlých, které mají dvanáct měřitelných stupňů, má poslední zmiňovaná stupňů pouze sedm. U nás a ve východní Evropě se používala dvanáctistupňová MSK (Medveděv, Sponheur, Kárník) stupnice (Jakeš, 2005).

Nejpoužívanější stupnicí v dnešní době je evropská makroseismická stupnice EMS-98. Tato stupnice člení budovy do šesti tříd zranitelnosti. Dalším prvkem EMS-98 stupnice spojené s diagnostikou je relativní četnost definic z kvalitativního hlediska (malé, větší, největší poškození budovy). Jedná se vlastně o stupnici intenzity, doplněnou o komplexní podklady, které přispívají, spolu s ostatními prvky, ke snížení subjektivity této stupnice, která je často spojována s intenzitou zemětřesení (viz. Tab. 1). EMS-98 je snadno použitelná pro stavby kdekoli na světě a v minulosti již byla použita v řadě zemí mimo Evropu. Měla by také být základem pro hodnocení intenzity v evropských zemích (Gupta, 2011).

Intenzita zemětřesení obecně klesá se vzdáleností od epicentra. Nejedná se tedy o jednu hodnotu, která by charakterizovala dané zemětřesení, ale hodnota intenzity daného určitého zemětřesení závisí na konkrétním místě pozorování. Proto ji lze popsat v mapách, kde se vyjadřuje za pomoci izoseist. Izoseisty jsou spojnice míst se stejnou hodnotou intenzity zemětřesení (Jakeš, 2005).

Tab. 1. Stupnice intenzity (EMS). Upraveno podle

http://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/PPR/PPR_Zemetreseni.pdf.

Stupnice intenzity		
<i>intenzita</i>	<i>definice</i>	<i>Pozorované jevy</i>
I.	nepocítitelné	Zaznamenávají pouze přístroje.
II.	stěží pocítitelné	Pocítí vnímavé osoby, když jsou v klidu (obvykle ve vyšších patrech budov).
III.	slabé	Pocítí vnímavé osoby uvnitř budov. Slabé kývání zavěšených předmětů.
IV.	pozorovatelné	Pocítuje většina lidí uvnitř budov. Okna, dveře a nádobí drnčí, sklo cinká. Pocit silnějších vibrací.
V.	silné	Pocítuje většina lidí (i mimo budovu). Budovy se třesou. Nestabilní předměty se kácí, malé předměty se přemisťují, tekutiny se rozlévají, okna a dveře se otevírají.
VI.	nepatrné škody	Pocítují všichni lidé, mnoho je jich vyděšených a vyběhají ven. Posunují se i větší předměty, některé padají. Poškození omítek, komínů, trhliny ve zdech. Malé zvony začnou zvonit.
VII.	působící škody	Pocítují i osoby jedoucí v autech, je obtížné stát. Většina lidí je vyděšených a vyběhají ven. Poškození chatrných budov, padání komínů, malé trhliny ve zdech, na svazích trhliny v zemi, zvoní i velké zvony, vytváří se vlny na vodní hladině.
VIII.	působící velké škody	Pro mnoho lidí je obtížné stát. Budovy se pohybují v základech, vznikají trhliny ve zdech, nelze řídit motorová vozidla. Poškození i dobrých budov, sesuvy půdy, trhliny v půdě.

IX.	ničivé	Panika, zřícení chatrných budov, lepší budovy jsou vážně poškozeny. Velké trhliny v půdě.
X.	silně ničivé	Poškození i speciálně konstruovaných budov, mostů a cest. Rozsáhlé sesuvy půdy.
XI.	pustošivé	Většina lepších budov je zničena, některé ze speciálně konstruovaných proti zemětřesení jsou poškozeny. Nepoužitelné silnice a železnice, zničení potrubí, sesuvy půdy.
XII.	zcela devastující	Všechny objekty jsou totálně zničeny. Změní se tvářnost krajiny.

V roce 1935 americký seismolog Charles Francis Richter (1900-1985) navrhl stupnici kvantitativní a magnitudo jako objektivně spočítanou hodnotu. Stupnice, založená na měření magnituda, tedy nese jeho jméno (Jakeš, 2005).

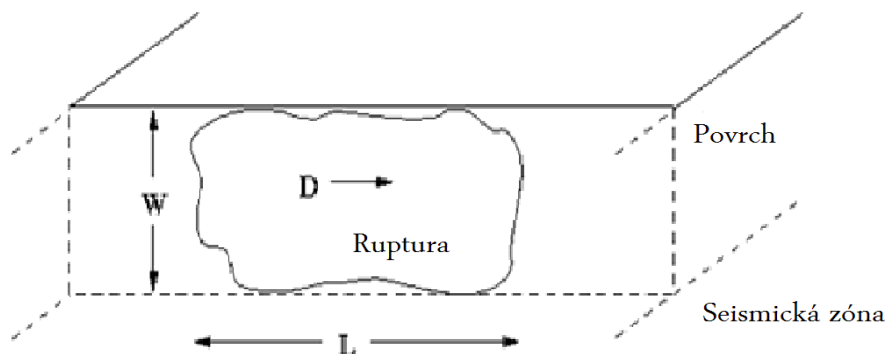
Magnitudo je dekadický logaritmus amplitudy zemětřesení v mikrometrech, registrované standardním Woodovým- Andersenovým krátkoperiodickým seismografem v epicentrální vzdálenosti 100 km (Zorkovský, 1988). Měření magnituda má pro vědeckou seismologii větší vypovídající hodnotu než intenzita, i když jeho velikost nemusí odpovídat následkům zemětřesení. Přesto se často jednotlivé stupně Richterovy škály spojují s projevy zemětřesení (viz. Tab. 2). Takové popisy je tedy nutné považovat za orientační a silně závislé například na hloubce hypocentra.

Tab. 2. Richterova stupnice. Zdroje: Wikipedia, Wikipedia sk

Richterova stupnice (logaritmická stupnice)			
<i>magnitudo</i>	<i>popis</i>	<i>odhadované následky v blízkosti ohniska</i>	<i>četnost výskytu</i>
méně než 2	mikro	mikrozemětřesení, smysly nepozorovatelné	okolo 8000 denně
2,0 - 2,9	velmi malé	většinou nepostřehnutelné, ale měřitelné	okolo 1000 denně
3,0 - 3,9	malé	často vnímatelné, žádné poškození	okolo 49 000 ročně
4,0 - 4,9	slabé	drnčení, třesení nábytku, větší škody nepravděpodobné	okolo 6200 ročně
5,0 - 5,9	střední	může způsobit lokálně větší škody na chatrných budovách, dobře postavené stavby bývají jen slabě poškozené	okolo 800 ročně
6,0 - 6,9	silné	může mít destruktivní následky na ploše o průměru desítek km	okolo 120 ročně
7,0 - 7,9	velké	může mít destruktivní následky v rozsáhlých oblastech	okolo 18 ročně
8,0 - 8,9	velmi velké	může mít destruktivní následky i stovky km od epicentra	okolo 1 ročně
9,0 - 9,9	masivní	destruktivní následky na ploše o průměru stovek i tisíců km	asi 1 za 20 let
10,0 a více	meteorické	lidmi dosud nezaznamenané, masivně ničivé	extrémně vzácná

Za zmínku také stojí měření velikosti zemětřesení za pomoci seismického momentu. Seismický

moment je měřítkem velikosti zemětřesení ze seismogenních údajů určených na základě zkoumání oblasti okolo zlomu, průměrné velikosti skluzu a síly, která byla potřebná k překonání tření skály posunuté zlomem. Seismický moment lze také vypočítat z amplitudy spektra seismických vln (<http://leccos.com/index.php/clanky/seismicky-moment>).



Obr. 2. Schéma výpočtu seismického momentu.

Převzato z <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=seismic%20moment>.

Obr. 2 zachycuje řez zemskou kůrou v rovině zlomu. Ilustruje určování velikosti zemětřesení za pomoci seismického momentu. Seismický moment (M_0), plocha zlomu (A , $A = LW$), střižný modul hornin v okolí zlomu (μ , 32 Gpa v kůře, 75 Gpa v plášti), průměrný posun během deformace (D) (viz. rovnice (1.1)).

$$M_0 = A \mu D \quad (1.1)$$

1.5.2 Přístrojové měření

Prvními přístroji schopnými zaznamenat příchod zemětřesení byly seismoskopy. Tyto přístroje dokázaly zaznamenat zemětřesnou událost, nepodávaly ale žádné informace o průběhu seismického vlnění.

K měření a monitorování zemětřesení v současnosti se používají seismografy. Seismografy jsou přístroje, které zesilují a zaznamenávají pohyby půdy. Fungují na základě zákona setrvačnosti. Seismografy jsou vybaveny seismometry (geofony), které jsou schopny zachytit a zviditelnit projev zemětřesení a relativní pohyb Země vůči závaží, které není se Zemí pevně spojeno, ještě zesílit. Moderní seismometry využívají k zesílení vibrací Země složité elektronické obvody. Součástí seismografu je i záznamové zařízení. Záznam seismografu se nazývá seismogram. Rozeznáváme analogový a digitální seismogram. Údaje analogového seismogramu jsou zaznamenávány na papírovém pásu na rozdíl od záznamů seismografu digitálního, který je uložen na CD, magnetické pásce nebo na pevném disku (Fischer a kol., 2011).

Seismické signály jsou průběžně monitorovány na seismických stanicích všude po světě. Výjimkou nejsou ani podmořské stanice. Existují desítky lokálních a regionálních seismických pozorovacích sítí a několik globálních sítí. Všechny zmiňované typy sítí jsou často napojeny přes standardní komunikační prostředky či satelity na mezinárodní datová centra.

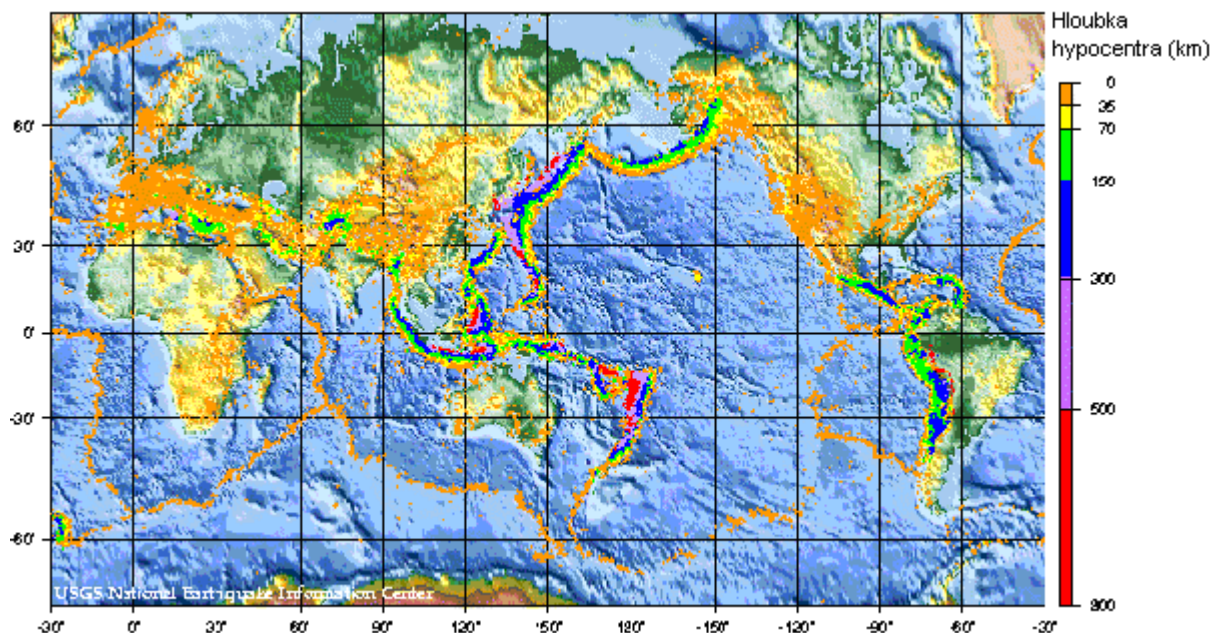
Existuje řada typů seismometrů. Na jedné straně krátkoperiodické seismometry, na straně druhé seismometry ultradlouhoperiodické. Seismometry se dělí také podle účelu, za jakým jsou používány. Z tohoto hlediska rozeznáváme seismometry pro globální, regionální nebo lokální použití (Zedník J., <http://www.ig.cas.cz/userdata/files/popular/Seismometry.pdf>).

Přístroje pro měření seismického vlnění jsou v závislosti na podmínkách místa uložení kalibrovány tak, aby byly schopny měřit výchylky ve standardních fyzikálních jednotkách.

1.6 Přehled významných zemětřesení

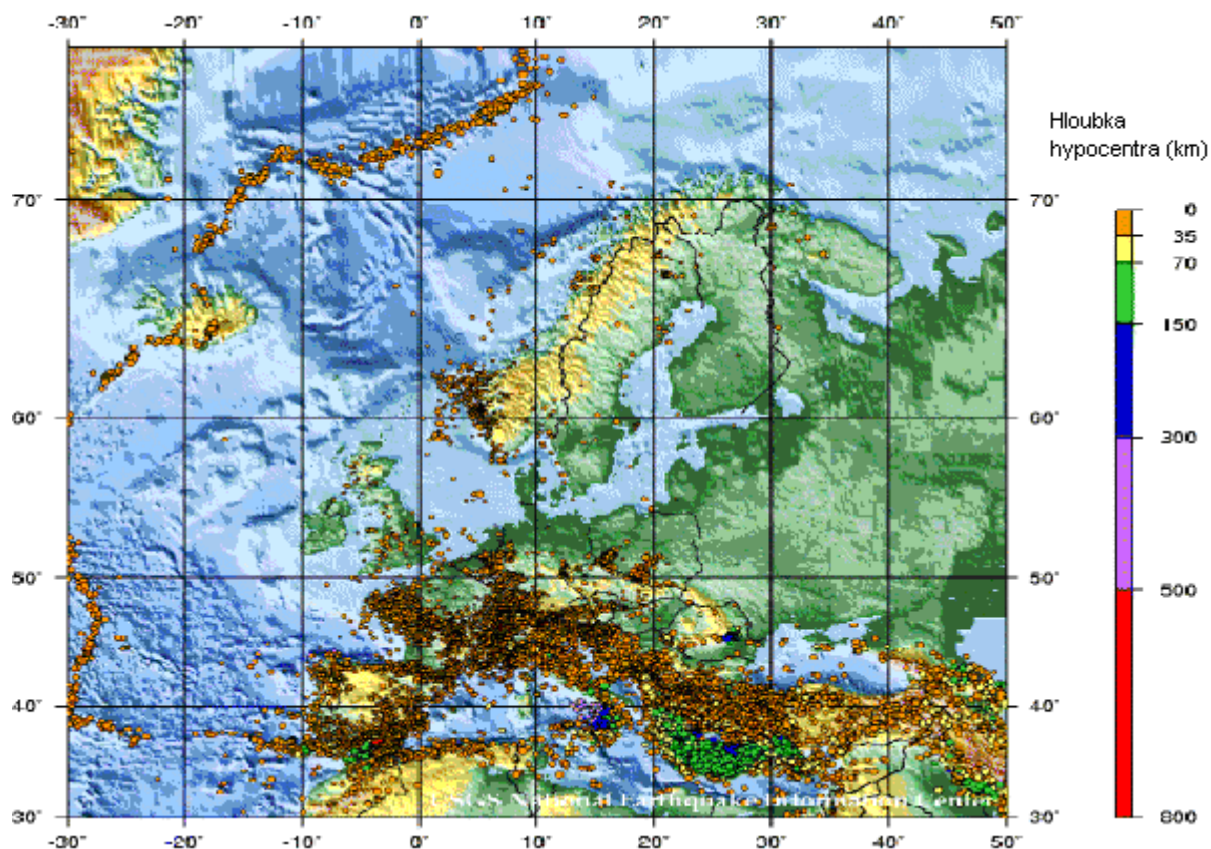
Vědci odhadují, že na Zemi dochází každý rok k více než milionu otřesů. Většinou jsou ovšem tak slabé, že je lze zachytit jen pomocí vysoce citlivých přístrojů. Přesto však každoročně proběhne patnáct až pětadvacet silných zemětřesení a některá z nich jsou skutečně ničivá (viz. Tab. 3 a 4, <http://earthquake.usgs.gov/learn/>).

Oblasti výskytu otřesů jsou na Zemi velmi nestejně rozšířeny. Zemětřesení jsou častá ve veškerých okrajových územích Tichého oceánu a v oblasti mladých (terciérních) vrásových pohoří od Alp až po Himaláje a k horským hřbetům jihovýchodní Asie (viz. Obr. 3). Ze střední Evropy jsou známa z alpské oblasti až po Terst a Zábřeh, z rýnského prolomu (Freiburg, Karlsruhe) a švábské oblasti (viz. Obr. 4). U nás byly slabé otřesy zaznamenány na Chebsku. V Evropě bylo katastrofální zemětřesení zaznamenáno r. 1755 v Lisabonu. Bylo zničeno město a katastrofa si vyžádala 32 000 obětí (UNIVERSUM, všeobecná encyklopedie, 2001).



Obr. 3. Četnost zemětřesení ve světě (1990 – 2000).

Upraveno podle <http://www.vsudedobre.cz/katastrofy-zemetreseni/>.



Obr. 4. Četnost zemětřesení v Evropě (1990 - 2000).

Upraveno podle <http://www.vsudedobre.cz/katastrofy-zemetreseni/>.

V následujících tabulkách je uveden přehled významných zemětřesných jevů.

Tab. 3. Deset nejničivějších zemětřesení podle počtu obětí. Upraveno pole USGS.

Deset nejničivějších zemětřesení od roku 1900 (podle počtu obětí)					
<i>pořadí</i>	<i>lokalita</i>	<i>magnitudo</i>	<i>počet obětí min. / max.</i>		<i>datum</i>
1.	Čína, Ťan-šan	7,5	240 000	779 000	27.07.1976
2.	Haiti	7,1	230 000	316 000	12.01.2010
3.	Indonésie, Sumatra	9,3	230 000		26.12.2004
4.	Čína, Kan-su	7,8	200 000	240 000	16.12.1920
5.	SSSR, Turkmenistán	7,3	110 000	176 000	05.10.1948
6.	Japonsko, Kantó	7,9	100 000	142 000	01.09.1923

7.	Itálie, Messina	7,5	100 000	200 000	28.12.1908
8.	Čína, Sečuán	7,9	88 000		12.05.2008
9.	Pákistán, Kašmír	7,6	79 000	86 000	08.10.2005
10.	Peru	7,9	70 000	100 000	31.05.1970

Tab. 4. Deset nejničivějších zemětřesení podle naměřeného magnitudy. Upraveno podle USGS.

Deset nejsilnějších zemětřesení od roku 1900 (podle magnitudy)					
<i>pořadí</i>	<i>lokalita</i>	<i>magnitudo</i>	<i>počet obětí min. / max.</i>		<i>datum</i>
1.	Chile	9,5	1 655	6 000	22.05.1960
2.	Indonésie, Sumatra	9,3	230 000		26.12.2004
3.	USA, Aljaška	9,2	128		28.03.1964
4.	Japonsko	9	15 833	19 500	11.03.2011
5.	SSSR, Kamčatka	9,0	0		04.11.1952
6.	Chile	8,8	486		27.02.2010
7.	Ekvádor	8,8	500	1 500	31.01.1906
8.	USA, Aljaška	8,7	0		04.02.1965
9.	Indonésie, Sumatra	8,6	10		11.04.2012
10.	Indonésie, Sumatra	8,6	1 313		28.3.2005

2. DOPADY ZEMĚTŘESENÍ NA BUDOVY

Zemětřesení je přírodní katastrofa, která nejenže přímo ohrožuje životy lidí, ale odráží se, a to citelně, i na jejich majetku. Lidé obývající části planety, které se vyznačují značnou zemětřesnou aktivitou, jsou na takové události do jisté míry přivyklí a pracuje se na tom, aby byli i včasné a v rámci možností dostatečně připraveni. Velká pozornost se věnuje zabezpečení staveb a technologií, které by mohly ohrozit životní prostředí – například jaderné elektrárny, velké přehrady, chemické továrny, nebo jejichž nedostupnost by představovala pro společnost závažný problém – například zdroje vody, energií a podobně. Následující kapitola přibližuje i některá konstrukční řešení systémů a prvků, které by měly alespoň částečně zmírnit dopady v oblasti, ve které zemětřesení projevuje ve vztahu k lidem největší ničivé účinky - lidská obydlí.

Zemětřesení může poškodit budovy různými způsoby. Mezi některé jevy, působící škody na majetku, patří setrvačné síly, generované těžkými otřesy země. Dalšími hrozbami pro města mohou být rozsáhlé zlomy, různé druhy sesuvů a jiné plošné pohyby.

Není výjimkou, že zemětřesení doprovází následný požár. I ten dokáže napáchat nepředstavitelné škody na budovách. Jak již bylo zmíněno, v příbřežních oblastech mohou na stavby udeřit vlny tsunami. Proti těm se však stavby jen těžko chrání. Velká zemětřesení mohou způsobit dokonce změny v nadmořských výškách (Naeim, 1989).

Zemětřesení může udeřit značnou silou a je třeba s tím počítat a budovy uzpůsobit tak, aby katastrofu dokázaly přežít pokud možno bez zásadnějších škod.

2.1 Seismické inženýrství

Seismické inženýrství je odvětví hojně se rozvíjející hlavně v posledních letech. Hlavním úkolem zemětřesného inženýrství je projektování staveb odolných vůči zemětřesení, tzv. antiseismických staveb. Takto navržené stavby by měly být schopny čelit zemětřesení až do určené velikosti.

Práce zemětřesných specialistů spočívá ve správném vytipování staveniště a následném důkladném prozkoumání podloží dané oblasti. Seismičtí inženýři dále posuzují velikost zemětřesného ohrožení a určují charakter zemětřesných pohybů podloží, aby tak zabránili případnému ztekucení podloží, jeho nestabilitě či různým druhům sesuvů (Zahradník, 1995).

Seismické inženýrství je provázáno s mnoha dalšími obory, bez kterých by práce seismických odborníků neměla smysl.

Zvláštní odvětví seismického inženýrství se vyvinulo s rozvojem technologických komplexů, jako jsou jaderné elektrárny, chemičky a další. Zde je důležité zajistit i funkčnost technologických zařízení v případě havárie (Procházková, 2002) a zabránit škodám na životním prostředí.

2.2 Seismické normy

Pro správný výběr materiálů pro stavbu, užití správných technik výstavby a použití těch nejlepších antiseismických prvků se v praxi používají speciální normy.

Tyto normy vznikaly postupně na základě poznatků o silných zemětřeseních a na základě zaznamenané odezvy staveb na zemětřesení. Stavební normy většiny zemí pro běžné konstrukce jsou založeny na PGA (peak ground acceleration, špičkové zrychlení na úrovni terénu). Pro některé typy projektů speciálních staveb, jako jsou například jaderné elektrárny nebo důležité technologické

objekty, se berou systematicky v úvahu nejenom hodnoty PGA, ale i spektra odezvy. Použití spekter odezvy je fyzikálně více opodstatněné (Procházková, 2002).

Navrhovaným standardem pro oblast stavebnictví se staly Eurokódy. Jedním ze seznamu deseti norem je Eurokód 8 pro návrh antiseismických konstrukcí. Stavební objekty lokalizované v seismicky ohrožených oblastech musí být hodnoceny podle stanov normy 8 (http://www.scia-online.com/eNews/PDF/eNewsSept11_CZ.pdf).

2.3 Podmínky seismicky odolné stavby

Seismicky odolné budovy jsou stavěny takovým způsobem, aby dokázaly nést váhu vlastní konstrukce i v případě, kdy jsou vystaveny dodatečnému zrychlení, vyvolanému zemětřesením. Při zemětřesené události se budova začne chvět a pohybuje se všemi směry. Antiseismické budovy jsou konstruovány na pevných základech se souvislým obvodem, které jsou s budovou pevně spojeny. Stavební prvky takovýchto staveb jsou zhotoveny z odolných materiálů a budovy obvykle neobsahují robustní zdobné prvky jako různé ornamenty. Zpravidla i komíny a jiné prvky jsou u těchto staveb speciálně uzpůsobeny, aby v případě zemětřesení neohrožovaly životy lidí. Bezpečná budova plní také funkci ochrannou a dbá na ochranu rozvodných sítí (například rozvod plynu nebo vodovod). Brání tak případnému požáru či zatopení okolí budovy (Zedník, 2006).

2.3.1 Hodnocení seismické odolnosti staveb

Cílem zhodnocení odolnosti zařízení vůči zemětřesení je určit tzv. hraniční zemětřesnou (seismickou) odolnost. V praxi to znamená nalézt takovou zemětřesnou událost, při níž zařízení ještě plní určené bezpečnostní funkce.

Je stanovována hodnota veličiny HCLPF (High Confidence of Low Probability). Hodnota veličiny HCLPF je velikost zemětřesení vyjádřená hodnotou PGA. PGA vyjadřuje špičkové zrychlení v úrovni terénu, jak již bylo uvedeno. Při tomto zrychlení platí, že k selhání zařízení v důsledku tohoto zemětřesení dojde s 95% jistotou v méně než 5% případech. Na základě hodnoty HCLPF je možné výpočty a odvození dojít ke konečné (hraniční) seismické odolnosti celku (Kuo, 2006).

V jiných případech je využito duktility systému. Duktilita je definována jako schopnost konstrukce přenášet zatížení a pohlcovat energii v postelastickém stavu. Vychází se ze série neelastických analýz, kde bylo pozorováno, že konstrukce, která zůstane elastická, má přibližně stejné finální posuny jako konstrukce, která postoupila do postelastického stavu. Takzvaný princip stejných posunutí je použit například v Eurokódu 8 (Surovec, 2003).

Duktilita ukazuje plastické rezervy v konstrukcích a zařízeních při zemětřesení. Typickým příkladem, kdy je možné duktilitu uvažovat, jsou konstrukce jako nosníky, stěny, sloupy nebo desky s převažujícím namáháním na ohyb (Musil, 2006).

2.4 Ochranné prvky u nově stavěných budov

Následující kapitola popisuje některé z konstrukčních prvků užitých při výstavbě nových staveb a sloužících ke snižování velikosti amplitudy deformací, kterým je budova při zemětřesení vystavena.

Konvenční přístupy k zemětřesně odolné konstrukci budov závisí na vybavení budov výztuhami a neelastickými deformačními kapacitami, které jsou dostatečně velké, aby vydržely síly dané úrovně

zemětřesení. Toho je obecně dosaženo prostřednictvím výběru vhodného konstrukčního uspořádání a pečlivě vybraných detailů konstrukčních prvků, jako jsou nosníky, sloupky a spojení mezi nimi.

Naproti tomu základní přístup pokročilejších technik není zpevňování budov, ale redukce sil způsobených zemětřesením na tyto budovy. Mezi nejdůležitější techniky patří izolace základů budov od sil způsobených zemětřesením a zařízení k rozptýlení energie zemětřesení.

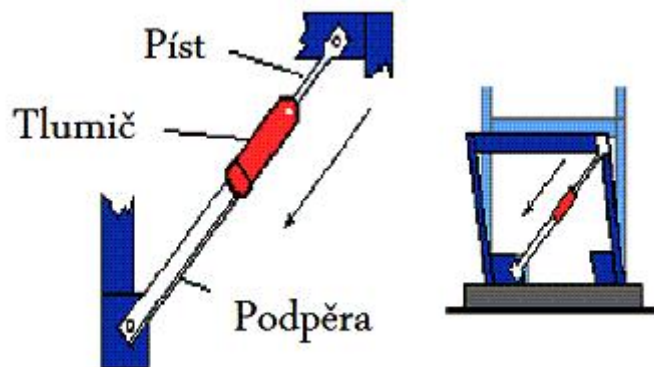
Vibrační energie je přenášena do budovy přes základy. Budovy samy mají určitou schopnost tuto energii rozptýlit a tlumit. Nicméně schopnost budov rozptylovat energii ještě před deformací je značně limitovaná. Budova rozptyluje energii buďto značným pohybem, nebo zvyšováním interního napětí v prvcích jako jsou například sloupky a stropní nosníky. Vybavení budov přídatnými zařízeními, které mají značnou tlumicí kapacitu, můžeme zvýšit energii, kterou je schopna budova pohltit, a tím předejít jejímu poškození.

Existují tři základní kategorie tlumičů: - tlumiče založené na tření materiálu, - tlumiče založené na elastických deformacích materiálu, - tlumiče založené na viskozitě kapalin náplně (<http://mceer.buffalo.edu>).

2.4.1 Visko-elastické tlumiče

Příkladem posledního zmíněného principu je užití pístového tlumiče.

Obr. 5 dává představu o poloze pístového tlumiče v konstrukci budovy. Tlumič je upevněn mezi úhlopříčně protilehlými spoji horizontálních a vertikálních konstrukčních prvků budovy (<http://mceer.buffalo.edu>).

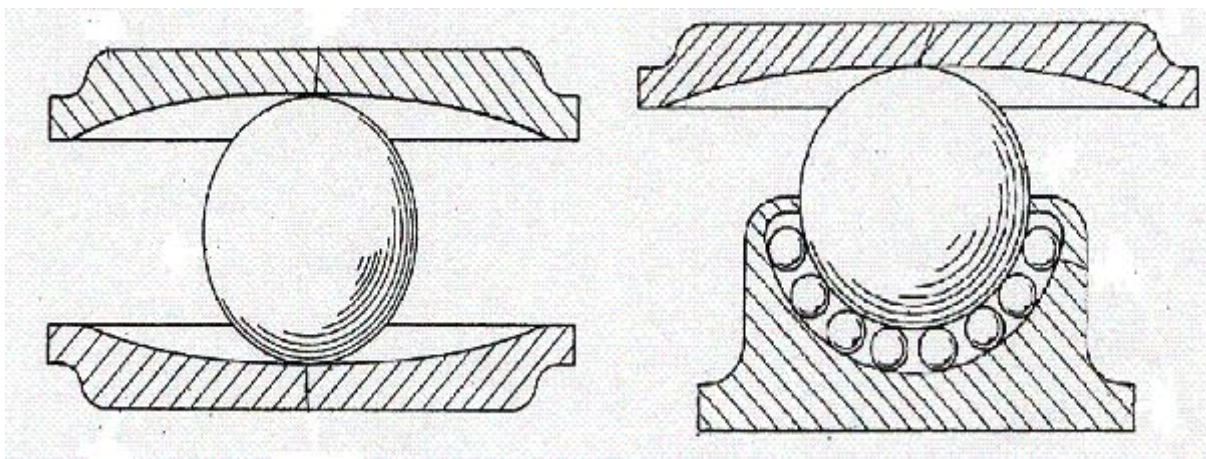


Obr. 5. Uplatnění pístového tlumiče při horizontální deformaci stavební struktury.

Upraveno podle z <http://mceer.buffalo.edu>.

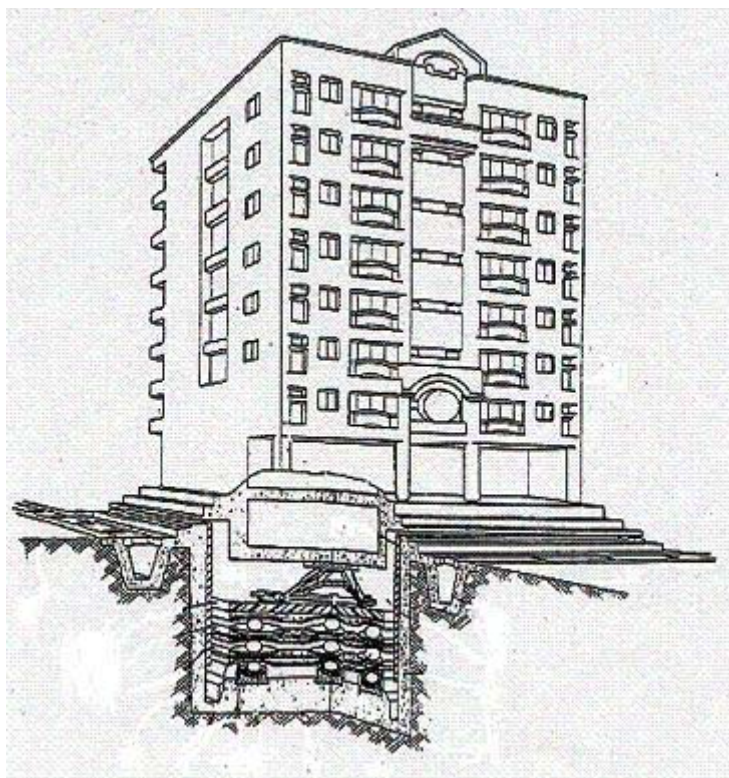
2.4.2 Tlumiče založené na tření

Jedním z příkladů prvku, fungujícím na principu tření, je systém ochrany budovy založený na odstínění kinetické energie zemního otřesu od budovy (Wu a kol., 1989).



Obr. 6 a 7. Nástin dvou typů ložisek v konstrukci antiseismické budovy.

Převzato z *Anti-earthquake structure insulating the kinetic energy of earthquake from buildings*, Wu Chyung-Jong a kol., 1989.



Obr. 8. Funkčnost systému ochrany základů v konstrukci antiseismické budovy jako celku.

Převzato z *Anti-earthquake structure insulating the kinetic energy of earthquake from buildings*, Wu Chyung-Jong a kol., 1989.

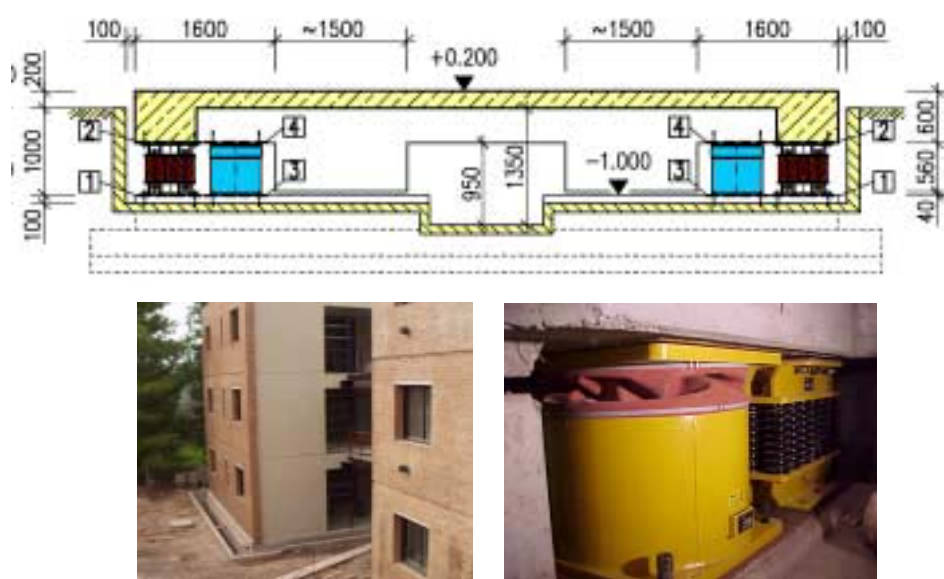
Anti-zemětřesná struktura izolující kinetickou energii od budovy je konstruována mezi budovou a zemí. Struktura spočívá v množství vrstev oddělených koulemi, ležícími v kulových prohlubních. Díky extrémně nízké třecí síle v horizontálním směru zůstává při otřesech budova stabilní. Na obrázcích 6,

7, 8 jsou přiblíženy konstrukční prvky systému (Wu a kol., 1989).

2.4.3 Tlumiče založené na elastické deformaci

Dalším z příkladů ochranného prvku je použití ocelových šroubových pružin a tlumičů, které byly použity u bytového komplexu v Mendoze.

Obr. 9 dává představu o ochranné základové vrstvě s ocelovou spirálovou pružinou a tlumičem. Horizontální mezera mezi plovoucí budovou a okolím byla zvolena 100 mm (Nawrotzki, 2012).



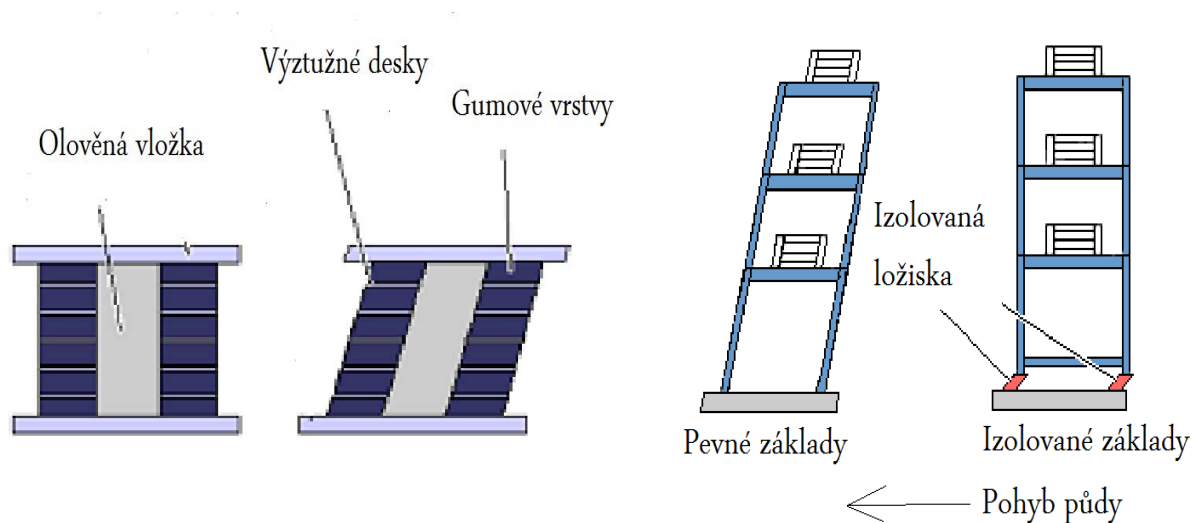
Obr. 9. Ochranná základová deska se šroubovými ocelovými pružinami a tlumiči.

Převzato z *Earthquake protection for buildings and other structures*, Nawrotzki P., 2012.

Následující princip přibližuje izolaci základů na bázi elastické deformace pryže s tlumící olověnou vložkou s plastickou deformací.

Základová deska je vybavena řadou podpěr, které jsou umístěny mezi budovou a samotnou deskou jak ukazuje Obr. 10.

Podpěry jsou kombinací ocelí vyztužených gumových prstenců, které obklopují olověné jádro. Uložení systému je velice pevné ve vertikálním směru, ale značně flexibilní ve směru horizontálním (<http://mceer.buffalo.edu>).



Obr. 10. Zobrazení budov bez užití systému podpěr a s jeho použitím.

Převzato z (<http://mceer.buffalo.edu>).

Na Obr. 11 je uveden princip ochrany staveb v praxi. Příkladem je užití gumo-olověného uložení u mostní konstrukce (<http://www.directindustry.com/prod/mageba/rubber-bearings-for-building-earthquake-protection-38983-479172.html>).



Obr. 11. Gumo-olověné uložení mostní konstrukce.

Převzato z <http://www.directindustry.com/prod/mageba/rubber-bearings-for-building-earthquake-protection-38983-479172.html>.

2.5 Opatření užitá na zmírnění dopadů zemětřesení

Existuje celá řada opatření snažících se zmírnit dopady zemětřesení na již stojících budovách. Patří mezi ně například opatření právní, organizační opatření nebo opatření technická.

Nejdůležitější a nejúčinnější z hlediska zmírnění dopadů zemětřesení na lidi a majetek jsou posledně zmiňovaná.

Opatření na zmírnění dopadů zemětřesení se uplatňují hlavně při návrzích na zvýšení seismické odolnosti důležitých objektů. Takováto opatření si kladou za cíl snížit zranitelnost důležitých staveb a jejich zařízení vůči zemětřesení. Užívána jsou hlavně na vybrané objekty, jako jsou průmyslové podniky, stavby s rizikovými technologiemi, přehrady, sklady a úložiště rizikových látek, jaderná zařízení či vojenské objekty. V některých případech jsou tato opatření užitá i na školy, nemocnice nebo důležité mosty. Důvodem užití opatření pouze na zmíněné objekty je hlavně jejich finanční nákladnost (Procházková, 2002).

Technická opatření v praxi znamenají:

1. Správnou volbu stavebních prvků i konstrukčních materiálů
2. Volbu vhodných konstrukčních řešení
3. Použití různých podpůrných systému, závěsů, omezovačů či kotvení
4. Použití ochranných bariér
5. Použití zábran pro případ výskytu neočekávaných efektů (například u elektrických vedení, rozvodů vody a dalších důležitých sítí)
6. U řídicích elementů pak také použití vhodného software s instrukcemi pro zásahy při výskytu poruch, možných při zemětřesení

Příkladem užití technických opatření v praxi je realizace rozvodů pro vodu na hašení požáru tak, aby nedošlo k porušení rozvodů při zemětřesení a aby daná síť vodovodů a čerpadel nebyla závislá na veřejné elektrické síti a vodovodu.

Hlavním cílem technických opatření je zachovat funkčnost objektu a důležitého technologického celku. Poškození menšího rázu tedy při velkých zemětřeseních nastat může. Na zvýšení odolnosti stavby a jejího zařízení o jeden stupeň makroseismické stupnice je zapotřebí zdvojnásobit finanční náklady na projekt (Procházková, 2003).

2.6 Záchranné a úklidové práce po katastrofě

Nejdůležitější záležitostí spojenou s poškozením staveb po zemětřesení bývá záchrana lidských životů přímo ze sutin. Lidé, kteří po katastrofě zůstanou zavaleni tunami materiálu, jsou zcela odkázáni na pomoc záchranářů a dalších složek integrovaného systému.

Důležitou součástí v souvislosti s řešením situace po katastrofě je i úklid napáchaných škod. Nejen, že škody v podobě zřícených budov, zdevastovaných komunikací a porušených rozvodových sítí hyzdí danou oblast, ale důležitější stránkou celé věci je fakt, že v takovýchto prostředích se dosti snadno a rychle šíří celá řada infekčně přenosných nemocí.

Pro ilustraci se jedná o onemocnění jako je cholera, tuberkulóza a jiná. V chudších oblastech s výskytem AIDS se tato choroba v době katastrofy může šířit i krví zraněných. Velkým problémem je také velká časová prodleva od vzniku byť i drobnějšího zranění a jeho ošetření v improvizovaných polních nemocnicích. V takovýchto případech i zranění neohrožující zásadně život člověka, mohou být fatální. Za takovýchto podmínek nejsou výjimkou komplikované záněty, končící nezřídka amputacemi končetin.

Takové prostředí je rájem pro bakterie, viry a další patogeny, které v celé řadě případů z minulosti dokázaly ve výsledku napáchat větší škody na lidských životech, než jim předcházející katastrofa. Ilustrativním případem je například situace na Haiti po velkém zemětřesení v roce 2010 (Dormes, 2010).

2.6.1 GINA systém (Geographical INformation Assistant)

GINA je projekt s názvem Geografický informační asistent. Jde o software, který byl vyvinut studenty brněnského Vysokého učení technického v roce 2010 a má za úkol pomáhat a spolupracovat s integrovaným záchranným systémem při katastrofách po celém světě.

GINA systém je podporován různými organizacemi. Například organizace Hand For Help s projektem GINA začala spolupracovat po lednové katastrofě na Haiti.

Projekt brněnských studentů napomáhá záchranářům v lepší navigaci. Za pomoci systému lze zapisovat do internetové mapy pohyb daného záchranáře. Záchranář sám může zakreslit oblast, kterou již prohledal a v neposlední řadě označit přesnou polohu zraněného tak, aby informace byla dostupná celému záchrannému týmu. Komunikace záchranného týmu je tak účinnější a rychlejší.

GINA je snadno ovladatelná a umožňuje vkládat vlastní kresby, nabízí grafické piktogramy, vkládání fotografií či krátkých videí z vestavěného fotoaparátu a to vše je uskutečněno v reálném čase.

GINA je instalována do běžných mobilních telefonů či kapesních počítačů. Funguje v režimu off- a on-line a využívá běžné připojení k internetu přes telefon, satelitní připojení nebo wifi.

Projekt, původně vznikající jako součást magisterské práce tří dnes již spoluautorů úspěšného systému, má své využití pro krizová střediska, záchranářské týmy (horskou službu nevyjímaje), ale i ve sférách jako je řízení podniku či zaměřování extravilánů (<http://www.ginasystem.cz/gina-system.htm>).

3. PREDIKCE ZEMĚTŘESENÍ

Predikovatelnost zemětřesení je již dlouho diskutovaným tématem a vědci toto téma považují za jeden z hlavních cílů současné seismologie a intenzivně se mu věnují. Existuje mnoho rozličných názorů na toto téma. V literatuře se setkáváme s optimistickými názory, že zemětřesení s magnitudem 7 a větším je za určitých předpokladů předpověditelné.

Jiné názory tvrdí, že předpovědi zemětřesných událostí jsou natolik nepřesné a nevěrohodné, že se o predikci zemětřesení jako takové nedá hovořit.

Ať už budeme v řešení predikce zemětřesení optimističtí, či nebudeme-li předpovědím zemětřesení přikládat přílišnou váhu, pravdou je, že předpovědi jsou složité kalkulace, do kterých je nutno zohlednit mnoho faktorů a jejichž výsledek je vždy nejistý.

Predikce zemětřesení je obvykle definována jako předpověď nastání zemětřesení v budoucnosti, přičemž jde o předpověď času, místa a velikosti budoucího zemětřesení v rámci stanovených limitů přesnosti. Takové předpovědi se však v minulosti ukázaly jako skoro nemožné. Ukazuje na to několik falešných poplachů a selhání v předpovědi, velké rozsahy a nejistoty v přesné lokaci, čase, ale i velikosti zemětřesení (Geller, 1996).

Pod pojem predikce se také někdy zahrnuje ex-post varování, vydané po vzniku zemětřesení a předcházející v dané oblasti seismické vlně díky větší rychlosti šíření elektrických signálů než seismických vln (např. tsunami). Jedná se tak ve své podstatě o systém včasného varování (viz. kapitola 3.4.3 GITEWS – příklad systému brzkého varování před tsunami).

S predikcí je často zaměňovaná statistická prognóza, která však slouží pouze pro vytipování potenciálně nebezpečných oblastí, na které je potřeba zaměřit pozornost při predikci a zejména při aplikaci protiseismických stavebních norem (Kalenda a kol., 2011).

3.1 Historický vývoj predikce zemětřesení

Předpovědi katastrof a tedy i zemětřesení se lidé zabývali již před staletími. První zmínky o předpovědi zemětřesení pocházejí již ze 6. století. Tehdy šlo o pozorování jevů, které předcházely zemětřesné události jako např. podivné chování zvířat nebo neobvyklé mraky na obloze. V pozdější době byly také pozorovány anomálie v TV a radiovém vysílání (Gupta, 2011). Ve všech uvedených případech se však nejedná o předpověď zemětřesení, ale o takzvané prekurzory zemětřesení. O předpovědi jako takové hovoříme až později.

První práce, které dnes lze považovat za základ predikce zemětřesení, vznikly po zemětřesení s magnitudem 8.3 v San Francisku v roce 1906 (Gupta, 2011).

Od šedesátých do sedmdesátých let začaly vznikat projekty předpovědi zemětřesení, podporované vládami států jako USA, bývalého Sovětského svazu, Japonska a Číny. Projekty byly tvořeny hlavně statistickými přístupy pro dlouhodobé a střednědobé předpovědi, ale existovala také deterministická přiblížení pro krátkodobé předpovědi zemětřesení (Gupta, 2011). Občas se podařilo některá zemětřesení předpovědět, nicméně žádná z metod se zatím neukázala jako obecně platná.

3.1.1 Léta sedmdesátá

První úspěšnou predikční metodou se mezi lety 1968-1969 stala metoda "dvou period geomagnetických bouří". Tato metoda byla založena na geomagnetických měřeních.

V roce 1973 byla předložena "dilatačně difuzní" teorie, která měla za cíl vysvětlit řadu různých jevů (např. změny průběhu seismických vln), které předcházely zemětřesení. Autorem této teorie byl Ch. Sholtz a jeho spolupracovníci Lynn Sykes a Yashem Aggarwal (Sholtz a kol., 1973).

V 70. letech pak začaly vznikat další predikční metody, které byly založeny na geofyzikálních měřeních. Většina postupů, metod a následných výsledků však byla publikována pouze v čínštině, není proto obecně známa. Toto predikčně úspěšné období bylo zakončeno roku 1975 predikcí zemětřesení v Haichengu s magnitudem 7,3. Bylo evakuováno celé město a zachráněno tak na tisíce životů. Predikce byla uskutečněna na základě vývoje výšek hladin podzemních vod ve vrtech a situaci dokreslilo i anomální chování zvířat a zvýšené zaznamenané doprovodné zemětřesné jevy jako například předtřesy (Raleigh a kol., 1977).

Po úspěšném období predikce v roce 1975 přišlo v roce 1976 zemětřesení s magnitudem 7,6 v oblasti Tangshanu, při kterém zahynulo okolo 500 000 lidí. Touto událostí skončilo příznivé období pro vědce. Paradoxně se ale po této katastrofě našly jasné signály v podobě chování zvířat, objemu důlní vody v nedalekém dole a shledaly se i změny měrného odporu hornin. Zemětřesení tedy mohlo být předem predikováno (Kalenda a kol., 2011).

3.1.2 Léta osmdesátá a devadesátá

V tomto období se dostaly ke slovu nové techniky, používané pro predikci zemětřesení, např. metoda VAN. Tato metoda má svůj základ v měření elektromagnetických vln, které předcházejí seismickému ději. Dalšími podobnými metodami jsou metody, které jsou založeny na výkyvech seismicity.

Většina ze zmíněných způsobů predikce zemětřesení byla použita i v experimentu v Parkfieldu v USA. Vědci zde očekávali velkou zemětřesnou událost. Odhady čekaly zemětřesení o magnitudu nejméně 6. Mluvilo se o takzvaném charakteristickém zemětřesení.

V programu Národní rady pro predikci zemětřesení (NEPEC) bylo v dané oblasti provedeno:

- měření plouzivosti (12 přístrojů na měření plouzivosti (creepmeter) bylo umístěno v Kalifornii),
- záznam o akumulaci napětí a posunu mezi křídly zlomu San Andreas (za pomoci dvou barevných elektronických dálkoměrů (EDM)),
- GPS měření (nasazeny byly desítky GPS s kontinuálním záznamem),
- měřeno bylo také napětí ve vrtech (osm vrtů v okolí Parkfieldu),
- uskutečnilo se i měření celkového tenzoru deformace (tříkomponentní strainmetry),
- v neposlední řadě proběhlo i měření výšky hladiny podzemních vod v okolí města.

Všechna měření probíhala před, během i po zemětřesné události.

Přes veškeré snahy vědců tento experiment nebyl úspěšný a během doby experimentu se nepodařilo predikovat žádné zemětřesení (http://www.ess.washington.edu/SEIS/PNSN/INFO_GENERAL/eq_prediction.html).

Podobným programem na predikci zemětřesení jako USA prošlo i Japonsko. S tím rozdílem, že

Japonci (na rozdíl od Američanů, kteří se zaměřili na prevenci) své snažení soustředili na přímou předpověď zemětřesení.

Ani japonským vědcům se nepodařilo předpovědět zemětřesení v Kobe (1995), při kterém zemřelo 4 600 lidí a které ukázalo na velké nedostatky v programu predikce zemětřesení.

Výsledky experimentu v Parkfieldu spolu s neúspěchem v predikci zemětřesení v Japonsku vedly ke značné kritice predikce zemětřesného jevu jako takového.

Geofyzikové se pokusili pro predikci zemětřesení uplatnit teorii chaosu, ze které vyplynulo, že není možné uvažovat o predikci jednotlivých zemětřesných událostí jako takových.

Následkem tragédií v USA a v Japonsku bylo snížení dotací na výzkum predikce zemětřesení.

V Číně v osmdesátých a devadesátých letech byly přístupy k prediktibilitě zemětřesení poněkud odlišné. Centrální názory seismologie nebyly za jedno s výroky o tom, že zemětřesení nelze předpovědět. Hlásaly, že zemětřesení předpovědět lze, pokud je k dispozici více času. Tedy že předpověď není jednogenerační záležitost (Kalenda a kol., 2011).

3.2 Parametry předpovědi zemětřesení

Přestože, jak je již zmíněno v předchozích kapitolách, předpověď zemětřesení skýtá mnohá úskalí, existují způsoby, jak tento nevyzpytatelný přírodní jev alespoň hrubě předpovědět. Predikce zemětřesení znamená zjištění budoucího času výskytu seismické události, jeho lokalizace a velikosti, a to ve známých mezích přesnosti (Geller, 1996).

3.2.1 Určení místa ohniska

U předpovědi místa ohniska zemětřesení narážíme na problém, že ne všechna místa na Zemi jsou seismicky aktivní a tudíž nejsou ani monitorována. Naproti tomu často dochází k opakování zemětřesné události ve stejné oblasti. Předpověď místa zemětřesení v sobě tedy kombinuje historické poznatky o oblasti výskytu zemětřesení spolu se studiem elasticity dané oblasti.

K určení místa ohniska budoucího zemětřesení může být nápomocná teorie seismických mezer (gap). Podél seismicky aktivních zlomů dochází působením posuvu litosférických desek k hromadění napětí, které je v případě překročení pevnosti hornin uvolněno formou zemětřesení. Ta jsou z historického hlediska známá a evidovaná. Podél zlomů však existují oblasti, ve kterých se dlouho zemětřesení nevyskytl. Teorie seismických mezer říká, že v těchto oblastech lze očekávat nahromaděné napětí a následnou zemětřesnou událost (Lowrie, 2007).

3.2.2 Předpověď okamžiku vzniku zemětřesení

Teorie seismických mezer napomáhá při určování polohy zemětřesení, ale jako prostředek určení času výskytu zemětřesení se použít nedá. Faktory, sloužící k předpovědi zemětřesení, jsou závislé na místní pevnosti hornin a rychlosti s jakou se napětí hromadí. Můžeme sice s určitou přesností změřit napětí hornin, ale neznáme faktory, které určují kdy hornina povolí (Lowrie, 2007).

Podle Kalendy a kol. (2011) existuje další metoda, užívaná k určení času vzniku zemětřesení. Touto metodou je určování období anomálních napětí na základě rozpoznávání tzv. napěťových vln nebo tektonických vln. Napěťové vlny mohou být vyvolány různými způsoby. Výhodou detekce napěťových vln je, že vznikají před hlavním otřesem. Napětí se v té době blíží mezi pevnosti hornin v

ohniskové oblasti. Rozpoznáním napěťové vlny bylo predikováno zemětřesení na Kurilách (2008) a v Sečuanu (2008).

3.2.3 Určení velikosti zemětřesení

Poslední ze tří základních údajů pro předpověď zemětřesení (magnitudo) se určuje nejhůře. Jedna z hypotéz, která se v minulosti jevila jako použitelná k předpovědi velikosti zemětřesení, je dilatanční hypotéza. Je založena na systematických změnách poměru času příchodu P a S vln vzniklých v ohnisku větších otřesů.

Počáteční úspěchy v predikci velikosti zemětřesení pomocí dilatančního modelu vedly k přesvědčení, že byla nalezena fungující teorie předpovědi. Bohužel se ukázalo, že dilatanční efekt není univerzální a je omezen pouze na některé druhy zemětřesení (Lowrie, 2007).

Kalenda a kol. (2011) ve své práci konstatují, že odhad velikosti magnituda budoucího zemětřesení je možno učinit z času, po který se projevují prekursori podle rovnice (3.1). Podle uvedené rovnice lze poměrně spolehlivě predikovat jevy s magnitudem větším než 6.

$$\log T [\text{dny}] = 0.46 M - 2.2 \quad (3.1)$$

3.3 Prekursori zemětřesení

Následující popsané metody hledají prekursori, které se objevují před hlavním dějem, a jejich úkolem je odlišit tyto prekursori od dějů, které probíhají v období mezi hlavními ději zemětřesení. Problém nastává v tom, že všechny prekursori se v menší či větší míře projevují i v mezidobí a je tedy složité odlišit, kdy jde o jev "normální" a kdy naopak jev ukazuje na blížící se hrozbu. Pro predikci obecně platí, že se jedná o kombinaci a použití více technik.

3.3.1 Elektromagnetické metody

Systematické výzkumy zemětřesení související s elektrickými, magnetickými a elektromagnetickými jevy byly zahájeny v různých částech světa víceméně současně (okolo roku 1980). Tento nově vzniklý vědní obor je označován jako seismo-elektromagnetismus (Gupta, 2011).

Zmiňovaný vědní obor patří mezi perspektivní směry v oblasti predikce zemětřesení. Svůj základ má v metodě VAN.

Metoda VAN, nesoucí jméno po počátečních písmenech jmen jejich zakladatelů (P. Varotsos, K. Alexopoulos and K. Nomikos), byla po dlouhou dobu jedinou predikční metodou pro predikci zemětřesení v reálném čase. Přestože se ukázalo, že nejde o obecně použitelnou metodu predikce zemětřesení, díky této metodě byly objeveny dva důležité principy. Prvním je princip selektivity, který říká, že seismielektrický jev od zemětřesení lze registrovat jen v určitém místě a to jen pro určité polohy ohnisek. Druhým principem je tzv. VAN-relation, což je vztah, platný pro velikost magnituda zemětřesení, ohniskovou vzdálenost a elektrický potenciál (Gupta, 2011).

Kalenda a kol. (2011) říká, že pro správné pochopení a porozumění elektromagnetickým metodám je důležité objasnění některých jevů, vznikajících v magmatických horninách v době, kdy se mění napětí, a na počátku jejich porušování. Elektromagnetické pole i ionty se šíří do prostoru, proto je možné

pozorovat tyto jevy i na rozmezí litosféry a atmosféry, v samotné atmosféře, v ionosféře, ale také z kosmu.

Na stejném fyzikálním podkladu pracuje také metoda predikce založená na pozorování zemětřesných oblaků ve vyšších částech atmosféry.

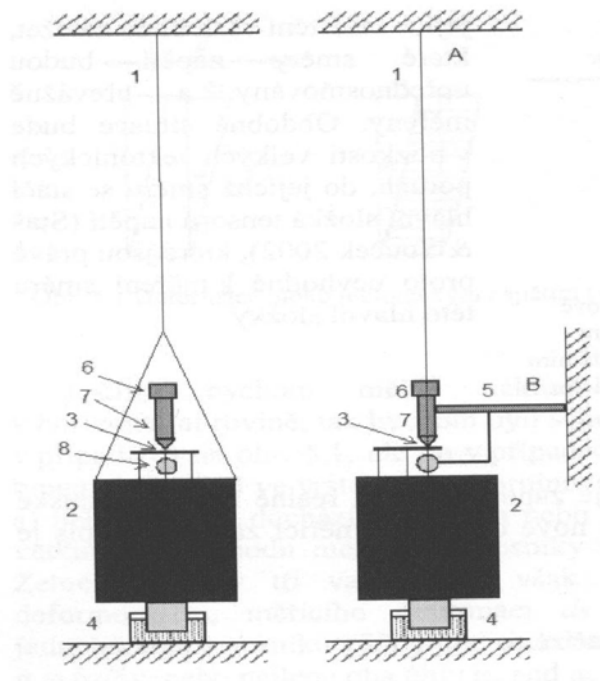
3.3.2 Slapy a seismické kyvadlo

Kalenda a kol. (2011) ve své práci uvádí, že při analýzách, kde jsou brány v potaz pouze seismické jevy jednoho typu, je spouštění zemětřesení slapy nenáhodné a dá se určit místo i doba příchodu zemětřesného děje. Metoda slapů je často kombinována s metodami dalšími např. s metodou VAN. Výhodou této metody je, že slapy jsou snadno počitatelné všude na Zemi. Pozorování souvislosti slapů se zemětřesením má dlouhou historii. Větší souvislost než mezi slapy a zemětřesením však byla prokázána mezi vulkanickou aktivitou na středooceánských hřbetech či v pobřežních oblastech a slapy. Zemské slapy generují na zlomech napětí v řádech kilopascalů, což je podstatně méně, než jsou přirozené fluktuace napětí v horninách.

Další metodou, která napomáhá v predikci zemětřesení, je metoda založená na použití seismického kyvadla.

Kyvadlo je zhotoveno z materiálu, který je elektromagneticky neutrální a má minimální permitivitu i permeabilitu. Zařízení je zavěšeno ve stabilní pozici a jeho pohyb je tlumen olejovým tlumičem. Hmotnost závaží, vyrobeného z betonu, či cementové směsi činí asi 5kg. Lanko, na kterém je kyvadlo zavěšeno, je zhotoveno z ocelového drátu o průměru asi 1mm. Délka závěsu se pohybuje mezi 1 až 36 m, podle možností v dané lokalitě. Čidlo tvoří digitální kamera upevněná na objektivu mikroskopu. Zdrojem světla je monochromatická LED dioda. Součástí zařízení je také mikrorastr.

Měřicí systém je složen z jednotlivých měřících zařízení, které jsou odděleny a umístěny v jednotlivých lokalitách v podzemí. Principem měření je srovnávání relativní pozice kyvadla a horského masívu (viz. Obr. 12). Všechna zařízení jsou napojena na centrální systém. Typické měřicí zařízení je složeno ze dvou počítačů, přičemž jeden je uložen v blízkosti kyvadla a druhý zpracovává obraz a data na povrchu a předává data na internet. Každodenně probíhá do centrálního systému ze všech měřících zařízení přenos dat. Data jsou v systému přeměněna ze svého původního stavu na fyzikální veličiny, ze kterých jsou dále počítány další odvozené veličiny (Neumann, 2011).



Obr. 12. Statické vertikální kyvadlo.

Jednotlivé součásti kyvadla : 1) závěs vertikálního kyvadla, 2) hmota závěsu, 3) rastr, 4) olejový tlumič, 5) závěs kamery, 6) kamera, 7) mikroskop, 8) světlo, A,B horský masív

Převzato z *Náklony, globální tektonika a predikce zemětřesení*, P. Kalenda, L. Neumann a kol., 2011.

3.3.3 Měření emisí radonu

Jedná se o geochemickou metodu, která zaznamenala v minulosti úspěchy v predikci zemětřesení. Plynný radon je meziproductem rozpadové řady uranu. Migruje póry a trhlinami a kvůli své radioaktivitě je znám jako rizikový faktor pro životní prostředí a zdraví lidí. Radon může být zachycován v zemské kůře a v mnoha oblastech tvoří přirozené radioaktivní pozadí. Před některými zemětřeseními mohou být detekovány rozdíly v úrovni radonového pozadí. Zvýšené množství radonu, zachyceného v podzemních vodách nebo stoupajícího na povrch zemské kůry, může být způsobeno změnami v porositě horniny v hloubkách odpovídajících akumulujícímu se napětí (Lowrie, 2007).

Díky radioaktivitě radonu jsou poměrně snadno měřitelné i malé změny v jeho koncentracích.

Kalenda a kol. (2011) uvádí, že měření obsahu radonu ve vodách je používáno již od roku 1966, kdy došlo k zemětřesení v Taškentu. Vrcholem ve zkoumání radonu byla sedmdesátá léta, kdy byl v Kalifornii zkoumán radon jako jeden z prekurzorů zemětřesení.

Pomocí techniky měření radonu bylo s poměrně velkou přesností predikováno zemětřesení v Aquile (2009). Metoda, která úzce souvisí s měřením obsahu radonu je metoda zkoumání teplotních anomálií a také metoda aerosolových nebo iontových emanací.

3.3.4 Měření seismicity

Jedná se o metodu nejbližší většině seismologů a jde v ní především o sledování předtřesové aktivity.

Kalenda a kol. (2011) tvrdí, že před řadou zemětřesení vědci pozorují tzv. nukleační fázi. V této fázi zemětřesení již nelze zastavit a děj se rozvíjí samovolně, přestože dochází ke snižování napětí na

zlomu. Podařilo-li by se rozpoznat tuto fázi, byli bychom schopni bezprostředně předpovědět zemětřesení. Úskalí této metody spočívá v tom, že hlavnímu ději může, ale nemusí předcházet předtřesová aktivita.

3.3.5 Měření posunů zemského povrchu

Narůstající napětí v horninách má za následek horizontální a vertikální posuny zemského povrchu. Tyto posuny mohou být měřeny geodeticky pomocí triangulace nebo moderními metodami využívajícími laserovou techniku. Tato metoda využívá interference paprsku zdroje a odraženého paprsku a je schopna měřit extrémně malé změny vzdáleností. U jedné z metod horizontálního měření je zdroj a detektor laserového paprsku umístěn na jednu stranu zlomu a odrazové zařízení na stranu druhou.

K měření vertikálních posunů po obou stranách zlomu se používají citlivé gravimetry, které mohou zachytit vertikální posun o velikosti 1cm (Lowrie, 2007).

Kalenda a kol. (2011) uvádí, že horizontální deformace měřené za pomoci GPS a deformace vertikální zachycené pomocí InSAR dokázaly predikovat vulkanickou činnost, ale v předpovědi zemětřesení příliš neuspěly.

Měření náklonu zemského povrchu je také realizováno takzvanými náklonometry (tiltmeter). Zařízení je založené na principu spojených nádob a výšky vodní hladiny v nich. Skládá se z trubice dlouhé alespoň 10m ukončené na obou stranách vodními nádržkami. Výška vodní hladiny se měří elektronicky a přístroj je schopen změřit náклон v řádu 0,000 000 1° (Lowrie, 2007).

3.3.6 Gravimetrie

Kalenda a kol. (2011) ve své publikaci uvádí, že gravimetrie je jedna z nejnovějších metod, schopna nepřímo měřit všesměrný tlak v horninách. Na Euroasijské desce byla roku 2009 zprovozněna síť stanic, která je schopna detekovat tektonické napěťové vlny, které jsou generovány v ohnisku budoucího zemětřesení. Síť nese název Atropatena.

V roce 2009 proběhla v Pekingu mezinárodní konference o predikci zemětřesení ISESEP. Jedním z nejdůležitějších závěrů konference bylo, že pro bezprostřední predikci je nejpodstatnější nepřetržitě měření napětí v horninách. Může se jednat o měření přímými i nepřímými metodami, ale měli bychom být schopni měřit absolutní velikost napětí a jeho variace v čase.

Pro predikci se využívá i mnoho dat z příbuzných oborů. Například informace o poloze stanic a o přesném čase nám podávají data geodetická a družicová. Používána jsou i paleoseismická data z výkopů, laboratorní data, například měření vzorků z vrtů, fyzikální data z vysokotlakových laboratorních experimentů, mineralogická data a mnohá další. Platí zde pravidlo, že čím více máme dostupných informací, tím by měla předpověď být přesnější (Zahradník J., <http://195.113.28.130/vyuka/Zahradnik-Seismologie-I.pdf>).

3.3.7 Přírodní prekurzory zemětřesení

Před ničivým jevem nás často příroda varuje sama. Ke svým varovným signálům často užívá nejrůznějších technik. Některá varování mají značný důraz, jiná jsou naopak jen těžko postřehnutelná.

Mezi signály, které člověk obvykle odhalí, patří například horké probublávající moře, které v některých případech může značně zapáchat. Moře je cítit po sirovodíku, benzínu či oleji. Dalšími hmatatelnými prekurzory blížící se katastrofy jsou bezpochyby i zvuky, které oceán vydává. Jedná se o

zvukové efekty lehce přirovnatelné například ke zvukům startujícího letadla, vzdáleného hromu či ke zvuku přeletu helikoptéry (<http://natura.baf.cz/natura>).

Mezi jiné poslíčky katastrofy patří například rudé záblesky, objevující se blízko obzoru (Hebenstreit, 1997).

3.4 Systém varování před vlnou tsunami

Na rozdíl od predikovatelnosti zemětřesení, která se v dnešní době pro vědce jeví jako skoro nemožná, má předpověď účinků ničivých vln tsunami tu výhodu, že když už k zemětřesení dojde, není zase takovým problémem určit, kudy a jakým způsobem se budou pohybovat vlny tsunami. Je tedy možno vypracovat účinný systém varování.

Účinnosti takového systému napomáhají i zkušenosti lidí, kteří podobnou událost již někdy v minulosti zažili, a také zkušenosti lidí, kteří na varovném systému spolupracovali. Nemalou roli hraje také řádné poučení a informovanost široké veřejnosti. Tento způsob ochrany, ač jeden z nejlevnějších, se v současnosti jeví jako jeden z nejlepších.

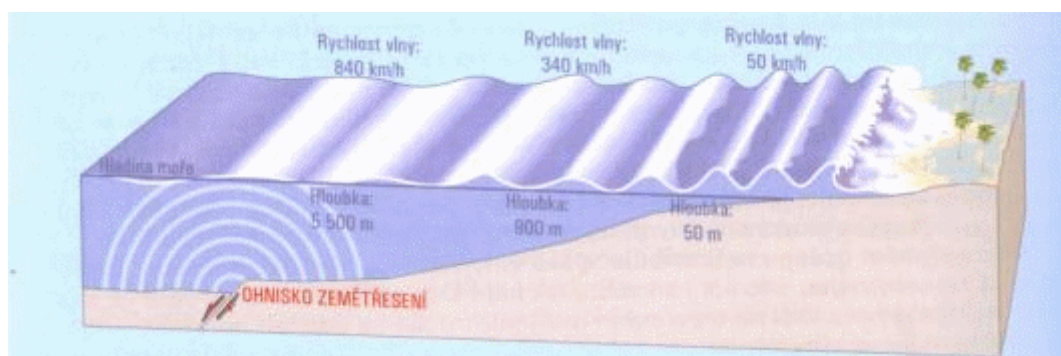
Nabyté zkušenosti ze studií intenzit zemětřesení a výšek vln tsunami umožňují vědcům odhadnout intenzitu, s jakou později vlna udeří, a také přibližně vymezit místo, kde se tak stane.

Díky dnešním vyspělým měřicím technikám, které jsou schopny zaznamenávat stovky, ale i tisíce údajů v jednom okamžiku, vznikla (jak už bylo uvedeno v předešlých kapitolách) velice spolehlivá síť sledování zemětřesení. Tato síť stanic je schopna geometrickým způsobem zjistit ohnisko zemětřesení. Zpravidla stačí tři seismické stanice ke stanovení místa vzniku zemětřesení.

Tyto stanice stejně dobře poslouží i k odhadu vzniku vln tsunami, možné intenzity, ale i směru šíření. Se zvyšujícím se magnitudem zemětřesení stoupá také pravděpodobnost vzniku vln tsunami (Jakeš, 2005).

Principem metody včasného varování před vlnou tsunami je její nízká rychlost šíření v porovnání s šířením vln zemětřesných. V dnešní vyspělé době a díky varovným systémům je tak zpravidla dostatek času na záchranu lidských životů. Zákonitě tedy platí, že čím dále od pobřeží vlna vznikla, tím více času je k dispozici na záchranné akce (viz. Obr. 13).

Zahradník (2005) říká, že v některých případech, jedná se zpravidla o historické události, jsou vědci schopni z následků, které zanechala vlna tsunami a které byly zachyceny ve starých rukopisech, zpětně odečíst velikost zemětřesení, které vlnu tsunami způsobilo. Nejedná se však o běžnou praxi. Tato metoda je využívána spíše výjimečně.



Obr. 13. Způsob šíření vlny tsunami.

Převzato z *Vlny hrůzy*, Jakeš, 2005.

3.4.1 Centra pro varování před vlnou tsunami

Jenom v USA fungují dvě centra schopná varovat před vlnou tsunami. Obě jsou dostupná mezinárodnímu společenství. Sledují možné indikace vzniku tsunami, vydávají varování, ve kterých předpovídají příchod tsunami na pobřeží a jejich intenzitu.

První z center se sídlem na Hawaji (PTWC- Pacific Tsunami Warning Center) je odpovědné za mezinárodní varování. Druhé z nich sídlí na Aljašce (ATWC- Alaska Tsunami Warning Center) a odpovídá za státy Aljaška, Britské Kolumbie, Washingtonu, Oregonu a Kalifornie.

Varování předává i pobřežní služba Spojených států a meteorologický rozhlasový systém.

Součástí varovného systému (Pacific Tsunami warning) je 26 států na pobřeží Tichého oceánu.

Od roku 1965 funguje mezinárodní informační centrum pro tsunami (ITIC- International Tsunami Information Center). Tato organizace je pod patronací UNESCO a měla by se starat o koordinaci vědeckého výzkumu (Jakeš, 2005).

Varovné systémy obecně se skládají ze dvou složek. První část tvoří síť seismografů, sledujících každou zemětřesnou událost. Druhou část systému pak tvoří bóje rozmístěné v oceánu.

Mezi přístroje, které jsou nainstalovány na pobřeží, v oceánu nebo na dně oceánu patří přílivové detektory (měřidla), GPS bóje a senzory na mořském dně (OBU). Slouží k měření kolísání mořské hladiny jak přímo na moři, tak i na pobřeží (<http://www.gitews.org/index.php?id=20&L=1>).

3.4.2 Bóje na měření vln tsunami

Bóje, sloužící k měření vln tsunami, jsou dva a půl metru vysoké, jsou připoutány lanem (5 až 6 km dlouhým) k těžkému závaží na dně a jsou opatřeny meteorologickými přístroji a vysílačem s anténou.

Nedaleko kotvy bóje je na menší kotvě manometr. Manometr je přístroj, který slouží k měření tlaku vodního sloupce.

Změna tlaku ve vodním sloupci je snadno měřitelná a odpovídá nejen výšce přílivu a odlivu, ale i výšce vlny tsunami, naproti tomu není citlivá na vlnobití, působené na hladině například větrem. Tento údaj o změně výšky hladiny se ze dna oceánu k hladině předává pomocí zvukové vlny, která má schopnost se snadno a rychle šířit ve vodě. Na bóji na hladině se tyto zvukové vlny opět mění na elektrický signál. Tento signál je pak přenášen do vysílače a přes satelit dál do centra na pevnině (Jakeš, 2005).

Tyto bóje slouží pro ověření vzniku a šíření vlny tsunami na otevřeném oceánu a doplňují tak celistvý

systém varování. Nejdůležitější informace pro rychlé varování, určení magnituda a přesné lokace však nepřináší. Nevýhodou bývá je jejich velká náročnost na údržbu a také velké finanční nároky na provoz (<http://www.gitews.org/index.php?id=82&L=1>).

Za zmínku stojí i projekt sponzorovaný Německem zvaný GITEWS.

3.4.3 GITEWS – příklad systému brzkého varování před tsunami

GITEWS je příkladem systému brzkého varování před tsunami, který je tvořen soustavou GPS, seismických a příbřežních stanic a systémem měřících bójí.

Návrh na koncept systému brzkého varování před tsunami GITEWS vznikl v roce 2004 po zemětřesení s magnitudem 9.3 na Sumatře. Dne 14. března 2005 byl projekt GITEWS odstartován.

Největší výzvou vědců pracujících na Systému brzkého varování před tsunami je zmenšit časové období mezi vznikem zemětřesení a varováním před tsunami. S novou technologií lze srazit čas na pouhých 5-10 minut z původních 30-40.

Pro rychlý záznam seismických parametrů je vyžadována hustá síť seismických stanic, které jsou umístěny co nejbližší epicentru zemětřesení. První seismická stanice byla instalována na ostrově Nias v červnu 2005. První dvě GPS bóje byly nasazeny v rámci německého výzkumného plavidla a jsou schopny registrovat náhlé změny hladiny moře.

Vyvinutí sítě pro určování spolehlivých seismických dat jako je určení místa, hloubky a rozsahu zemětřesení a analýza získaných dat v několika minutách je složitý proces. Proto byl německým Výzkumným centrem pro geovědy vyvinut speciální software nazvaný Seis-Comp 3.0, který je schopen tato data určit v minimálním čase. Tento software byl úspěšně použit v Centru varování před tsunami v Jakartě v září 2007. Díky systému byly správně vyhodnoceny parametry série zemětřesení v Bengkulu 12.-13. září 2007. Záznam o otřesu o velikosti magnituda 7.9 založený na vyhodnocení dat z 25 stanic byl k dispozici za 4 minuty a 20 sekund, a to vedlo k prvnímu varování před vlnou tsunami kratšímu než pět minut.

Projektem GITEWS se zabývá řada vědců a inženýrů z mnoha vědeckých a výzkumných center. Například GFZ (Německé výzkumné centrum pro geovědy), KDM (Německé konsorcium pro mořský výzkum) nebo IFM-Geomar (Leibnizův institut pro mořské vědy) a několik dalších německých, indonéských a mezinárodních institucí.

I nejrychlejší varování však nepřináší výsledky, pokud se nedostane včas k obyvatelstvu. Lidé by měli být informováni včas, ale současně je důležité veřejnost naučit, jak správně v krizových situacích reagovat. Lidé potřebují být poučeni o evakuačních plánech a o tom, jak se chovat v případě nebezpečí (Rudloff a kol., 2009).

ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce přináší základní přehled o zemětřeseních, jejich klasifikaci a výskytu na Zemi. Uvádí průřez názory na možnosti predikce zemětřesení. Zabývá se vybranými aspekty ochrany budov před poškozením vlivem zemětřesení a rozebírá systém včasného varování před vlnou tsunami.

Velká pozornost byla v této práci věnována predikci zemětřesení. Ukázalo se, že i přes vymoženosti dnešní vyspělé doby není obecně možné zemětřesnou událost předpovědět. Do předpovědi zasahuje řada faktorů a svou roli hraje i celá řada detailů a shod náhod.

Dnes tedy můžeme konstatovat, že existují určité prekursori zemětřesení a existuje také celá řada názorů na to, jak by se zemětřesení dalo předpovědět. Ale ani jedna z metod se zatím neshledala se stoprocentní účinností. Ani jednou z výčtu metod nejsme schopni se stoprocentní jistotou určit, zda zemětřesení opravdu nastane a kdy a kde se tak stane.

Nezbývá tedy, než se na tuto skutečnost dobře připravit. Zemětřesení není pro lidstvo ničím novým. Proto se domnívám, že v rámci ochrany svých životů a svého majetku lidé od prvních zaznamenaných katastrofických zemětřesení dosti pokročili. Budování odolných antiseismických staveb v ohrožených oblastech dnes již není výjimkou. Co se týče technik použitých při stavbě antiseismických budov, tak i ty, zdá se, se nezadržitelně rozvíjejí. Na rozdíl od dřívějšího zpevňování staveb se dnes používají sofistikovanější metody. Jednou z nich je odstínění seismické energie od budovy za použití zařízení, která jsou instalována přímo do základů budov.

Včasné varování před vlnou tsunami není nemožné, dokonce je i v některých případech včas realizovatelné. Přesto se nezdá, že dojde k selhání lidského faktoru. Kvůli neochotě přijmout informaci zvenčí, neobratnosti vnitřní komunikace, nedostatku vzdělání a kolapsu veřejného komunikačního systému, může dojít ke katastrofě, které by se za příznivých okolností dalo předejít.

Věřme, že stejně tak, jako dnes meteorologové předpovídají počasí, budou jednou seismologové schopni přesně předpovědět příchod a velikost zemětřesení. Zatím je to ale více či méně hudba budoucnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] Brázdil R., 1988. <http://www.sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1>, 7.8.2012
- [2] Dormes B., Oeckenpöhler S., 2010. *Neodkladná lékařská pomoc chirurgického týmu Humedica a Německého institutu pro medicínu katastrof Tübingen (DIGKM) během zásahu po zemětřesení na Haiti*. Německý institut pro medicínu katastrof Tübingen, Spolková republika Německo.
- [3] Fischer T., Vilhelm J., 2011. Seismologie a vnitřní stavba Země. *Fyzika Země* (podklady k přednášce). Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, PřF.
- [4] Geller R. J., Jackson D. D., Kagan Y. Y., Mulargia F., 1996. Earthquakes Cannot Be Predicted. *The American Association for the Advancement of Science*, Vol. 275, č. 5306., 1616 str.
- [5] Gupta H. K., 2011. *Encyclopedia of solid earth geophysic*. National Geophysical Research Institute Council of Scientific and Industrial Research, Hyderabad (India), 1578 str.
- [6] Hebenstreit G., 1997. *Perspectives on Tsunami Hazard Reduction, Observations, Theory and Planning*. Kluwer Academic Publisher, 218 str.
- [7] Horálek J., Fischer T., Mrlina J., Boušková A., 2004. Západní čechy – přírodní geodynamická laboratoř. *Československý časopis pro fyziku*, Vol. 54, č.4., 258-263.
- [8] Jakeš P., Kozák J., 2005. *Vlny hrůzy, zemětřesení, sopky a tsunami*. Lidové noviny, 221 str.
- [9] Kalenda P., Neumann L., Málek J., Skalský L., Procházka V., Ostřihanský L., Kopf T., Wandrol I., 2011. *Náklony, globální tektonika a predikce zemětřesení*. Občanské sdružení Česká geologie, 245 str.
- [10] Kumpers O., Foldyna J., Zorkovský V., 1988. *Všeobecná geologie*. Alfa - vydavatelství technické a ekonomické literatury, 521 str.
- [11] Kuo Keng-Chang, Suzuki Yoshiyuki, Hayashi Yasuhiro, Kambara Hiroshi, 2006. Evaluation of nonstructural components fragilities in risk assesment of hospitale. In: *Proceedings of 4th International Conference on Earthquake Engineering*. Taipei (Taiwan), October 12-13, 2006.
- [12] Lowrie W., 2007. *Fundamentals of Geophysic*. Cambridge University press, 347 str.
- [13] Musil A., 2006. Hodnocení bezpečnosti jaderně energetických zařízení z hlediska seismické odolnosti. *Mikulášské setkání mladé generace ČNS*. VUT v Brně, Fakulta strojní, Energetický ústav, Odbor energetického inženýrství, Český svaz vědeckotechnických společností, Česká nukleární společnost, Energovýzkum, spol. s r.o., Brno.
- [14] Naeim F., 1989. *The seismic design handbook*. Chapman & Hall, 450 str.
- [15] Nawrotzki P., 2012. Earthquake protection for buildings and other structures. In: *International Forum - Earthquake Prognostics*. URBANIA, Berlin, March 22-24, 2012.
- [16] Procházková D., 2002. *Seismické inženýrství na prahu třetího tisíciletí*. CD – ROM, 280 str.
- [17] Procházková D., 2003. Seismické inženýrství proti pohromám. *Environmentální ASPEKTY podnikání*, č. 2.
- [18] Procházková D., Roth Z., 1992. Geofyzikální a geologické představy o příčinách zemětřesení. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 37, č. 1., 42-52.
- [19] Procházková D., Roth Z., 1996. *Komplexní studium procesu vzniku zemětřesení ve střední Evropě*. Decibel production v. os. Praha, 74 str.
- [20] Raleigh B., Benett D., Craig H., Hans T., Molnar P., Nur A., Savage J., Scholz C., Turner R., Wu F., 1977. Prediction of Haisbeng earthquake. *EOS*, 58(5), 2.

- [21] Rudloff A., Lauterjung J., Münch U., Tinti S., 2009. The GITEWS Project (German-Indonesian Tsunami Early Warning system). *Natural Hazards and Earth system Science*, 9, 1381-1382.
- [22] Sholz C., Sykes L. R., Aggawal Y. P., 1973. Earthquake prediction and physical basin. *The American Association for the Advancement of Science*, 81, 803- 810.
- [23] Surovec J., 2003. *Výpočet ductility konstrukce a její odezvy na seizmické zatížení*. České Vysoké Učení Technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky.
- [24] Wu Chyung-Jong, Tung Ta Rd., Tsun Fay Sha, Hsiang Sze Hu, Hsien Yun Lin, 1989. *Anti-earthquake structure insulating the kinetic energy of earthquake from buildings*. United States Patent.
- [25] Zahradník J., <http://195.113.28.130/vyuka/Zahradnik-Seismologie-I.pdf>, 7.8.2012
- [26] Zahradník J., Janský J., 1995. Zemětřesení - nepřítel i přítel. *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 40, č. 4., 173 - 181.
- [27] Zahradník J., Burjánek J., Gallovič F., 2005. *Fyzikální výzkum zemětřesení*. <http://geo.mff.cuni.cz>, 12.8.2012
- [28] Zedník J., 2006. *Zemětřesení*. Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky.
- [29] Zedník J., <http://www.ig.cas.cz/userdata/files/popular/Seismometry.pdf>, 6.8.2012
- [30] 2001, *UNIVERSUM Všeobecná encyklopedie*. Euromedia Group, k. s. Odeon.
- [31] <http://www.directindustry.com/prod/mageba/rubber-bearings-for-building-earthquake-protection-38983-479172.html>, 9.8.2012
- [32] <http://earthquake.usgs.gov/learn>, 26.8.2012
- [33] <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=seismic%20moment>, 17.8.2012
- [34] http://www.ess.washington.edu/SEIS/PNSN/INFO_GENERAL/eq_prediction.html, 3.8.2012
- [35] http://www.ess.washington.edu/SEIS/PNSN/INFO_GENERAL/NQT/glossary.html, 26.8.2012
- [36] http://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/PPR/PPR_Zemetreseni.pdf, 18.8.2012
- [37] <http://www.ginasystem.cz/gina-system.htm>, 15.8.2012
- [38] <http://www.gitews.org/index.php?id=82&L=1>, 4.8.2012
- [39] <http://www.gitews.org/index.php?id=20&L=1>, 4.8.2012
- [40] <http://www.ig.cas.cz/cz/struktura/observatore/zapadoceska-seismicka-sit-webnet>, 26.8.2012
- [41] <http://www.i15.cz/zemetreseni>, 26.8.2012
- [42] <http://leccos.com/index.php/clanky/seismicky-moment>, 17.8.2012
- [43] <http://mceer.buffalo.edu>, 3.8.2012
- [44] <http://natura.baf.cz/natura>, 26.8.2012
- [45] <http://www.ncedc.org/cnss>, 24.8.2012
- [46] http://www.scia-online.com/eNews/PDF/eNewsSept11_CZ.pdf, 8.8.2012
- [47] <http://www.vsudedobre.cz/katastrofy-zemetreseni/>, 24.8.2012